

# Projektiranje akustičkih svojstava prostora

---

Debeljak, Alen

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:082101>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-27**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

**Završni rad br. 271/GR/2016**

**Projektiranje akustičkih svojstava prostora**

**Alen Debeljak, 5677/601**

Varaždin, rujan 2016. godine





# Sveučilište Sjever

Odjel za Graditeljstvo  
Završni rad br. 271/GR/2016

## Projektiranje akustičkih svojstava prostora

### Student

Alen Debeljak, 5677/601

### Mentor

Antonija Bogadi, dipl. ing. arh.

Varaždin, rujan 2016. godine



# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za graditeljstvo		
PRISTUPNIK	Alen Debeljak	MATIČNI BROJ	5677/601
DATUM	20.8.2016.	KOLEGIJ	Završni radovi i instalacije u zgradama
NASLOV RADA	PROJEKTIRANJE AKUSTIČKIH SVOJSTAVA PROSTORA		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Applied Acoustic Design		
MENTOR	Antonija Bogadi	ZVANJE	predavač
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. dr.sc. Božo Soldo, redoviti profesor		
	2. dr.sc. Lovorka Gotal Dmitrović		
	3. Antonija Bogadi, predavač		
	4. _____		
	5. _____		

## Zadatak završnog rada

BROJ	271/GR/2016
OPIS	Pristupnik u radu treba provesti pregled literature o fizikalnim svojstvima zvuka, utjecaju geometrije prostora na kvalitetu zvuka te o svojstvima zvukoapsorbirajućih i zvukoizolacijskih materijala. Dobivene podatke je nadalje potrebno iskoristiti za analizu konkretnog projekta opremanja glazbenog studija koja završava sa kritičkim osvrtom istog.
	Navedene teme potrebno je obraditi po slijedećim cjelinama:
	1. Fizikalna svojstva zvuka.
	2. Utjecaj geometrije prostorje na akustiku.
	3. Zvukopijajući i zvukoizolacijski materijali i njihova svojstva.
	4. Zvucna izolacija glazbenog studija.

ZADATAK URUČEN

23.09.2016



POTPIS MENTORA

*Li*

## **Predgovor**

Rad je pisan u svrhu poboljšanja kvalitete života u pogledu buke koja nas sada već prati skoro 24 sata dnevno, a ne možemo je izbjeći. Teško je pratiti današnji tempo života gdje uvijek moramo biti koncentrirani i produktivni. Buka nam uvelike to otežava i time ugrožava naše zdravlje. To nas je dovelo do pitanja kako se nositi s tim problemom te koja su rješenja. Jedno od rješenja proizlazi iz izvođenja različitih akustičkih sistema u različitim prostorijama. Time bismo poboljšali uvjete rada te drugih aktivnosti. Danas je zvučna izolacija jedan od ključeva uspjeha i dobrih rezultata jer pri radu ili učenju zahtijevamo mir i tišinu.

## **Sažetak**

U ovome radu govorit će se o raznim problema današnjice što se tiče buke i njezinom manifestiranju te kako je spriječiti da bi poboljšali kvalitetu i ugodnost ljudskoga života. Ponovit ćemo što je zvuk, kako se stvara te kako se prenose zvučni valovi u otvorenom, a kako u zatvorenom prostoru. Posebnu pažnju posvetit ćemo akustičkoj kvaliteti prostorija te kako volumen i oblike prostorije utječu na akustiku. Objasnit ćemo kako nastaje reverberacija odnosno odjek te dati najoptimalnije rješenje da se taj problem riješi ili ublaži. To ne možemo uspjeti bez dobrih akustičkih materijala koji apsorbiraju zvuk te ga ne prenose dalje kao odraz buke do slušatelja. Navest ćemo apsorpcijske materijale, njihova svojstva te njihove učinke. Još ćemo navesti kako pravilno zvučno izolirati zgradu odnosno stan (kuću) od poda, preko zidova, do stropa. Ta tema me zainteresirala zbog akustičkih sistema u glazbenim studijima te visoke razine apsorpcije zvuka. Smatram da su glazbeni studiji najbolji odraz dobro i kvalitetno izvedenih akustičkih sistema. Stoga sam stupio u kontakt sa vlasnikom glazbenog studijima „Viton“ koji mi je dao upute i iskustva kako poboljšati kvalitetu apsorpcije. No, ne samo da glazbeni studiji i sl. trebaju dobru izolaciju; dobra izolacija potrebna je i u našim domovima gdje provodimo najveći dio svog života pa zašto ga onda ne bismo proveli što ugodnije i kvalitetnije uz dobre akustičke sisteme?

**Ključne riječi:** buka, zvuk, akustika, zvučna izolacija, reverberacija, akustički materijali, akustički sistemi, glazbeni studio



## **Abstract**

In this labour we will talk about a different nowadays problems regarding to noise and its manifestations, and how to prevent it to get better life quality and and lifetime comfort. We'll also restate what is sound, how it creates and how sound waves are transmitting in open rooms and how in closed rooms. We will dedicate a special attention to acoustic quality of rooms and how volume and room shape affect to acoutic quality. We'll explain how reverb occurs and give you a best solution to solve or at least sooth this problem. Without a proper acoustic materials which absorb noise we cant achive that. We will quote absobtion materials, their performances and their effect. We will also quote how to make a proper sound insolation of building or a apartment from floor, through walls to ceiling. I found this topic interesting because of acoustic systems in musical studios and a high level of sound absorbtion in it. I think that musical studios are the best reflection of good quality acoustic systems. So I came to idea to contact owner of the sudio "Viton" to get some useful informations about sound insolation of musical studio. But musical studios and rooms like that are not the only ones that need a good sound insolation. We need to make sure that we achive good insloation in our homes where we spend the most of our lifetime. So why not to spend it good and comfortable with a proper acoustic systems?

**Key words:** noise, sound, acoustic, sound insolation, reverb, acoustic materials, acoustic systems, musical studio

# Sadržaj

<b>1. UVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>2. OPĆENITO O ZVUKU .....</b>	<b>12</b>
<b>3. FIZIKALNA SVOJSTVA ZVUKA .....</b>	<b>13</b>
3.1. ŠIRENJE ZVUKA U OTVORENOM PROSTORU .....	14
3.2. ŠIRENJE ZVUKA U ZATVORENOM PROSTORU .....	15
<b>4. AKUSTIČKA KVALITETA PROSTORIJA .....</b>	<b>17</b>
4.1. VOLUMEN PROSTORIJE.....	17
4.2. OBLIK PROSTORIJE .....	19
4.3. REVERBERACIJA ILI ODJEK.....	20
<b>5. APSORPCIJSKI MATERIJALI I ELEMENTI .....</b>	<b>22</b>
5.1. POROZNI MATERIJALI.....	23
5.2. MEMBRANSKI APSORBERI .....	25
5.3. REZONATORSKI APSORBERI .....	26
<b>6. MATERIJALI ZA ZVUČNU IZOLACIJU.....</b>	<b>27</b>
6.1. AKUSTIČNI PANELI ZA IZOLIRANJE ZIDOVA I STROPOVA .....	27
6.2. MATERIJALI ZA IZOLIRANJE PODOVA .....	29
6.3. MATERIJALI ZA IZOLIRANJE VRATA .....	30
<b>7. ZVUČNA IZOLACIJA GLAZBENOG STUDIJA ( VITON MUSIC STUDIO ).....</b>	<b>31</b>
7.1. AKUSTIKA U GLUHOJ SOBI .....	32
7.2. AKUSTIKA U KONTROLNOJ SOBI ( REŽIJI ) .....	34
<b>8. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>35</b>
<b>9. REFERENCE.....</b>	<b>36</b>
<b>10. POPIS SLIKA I TABLICA .....</b>	<b>37</b>

# 1. Uvod

U svakodnevnom životu, buka negativno utječe na ljudsko zdravlje i ponašanje te isto tako ometa opuštanje, rad i mogućnost koncentriranja. Ukoliko smo previše izloženi buci, to može dovesti do trajnog oštećenja sluha kao i oštećenja živčanog sustava, stoga je potrebno kvalitetno izvesti zvučnu izolaciju. Pravilna izvedba nudi rješenje zvučne izolacije, zaustavljajući ili upijajući neželjenu buku. Time osiguravamo ugodne uvjete za radno mjesto, dom i mjesto odmora. Zvučna izolacija značajan je čimbenik, a djeluje zajedno s toplinskom izolacijom i izolacijom protiv požara. Danas gotovo da nema trenutka u kojem zvuk ne ostvaruje neki oblik komunikacije s vanjskim svijetom. Napredak tehnike i tehnologije u graditeljstvu stvorio je nove mogućnosti u građenju zgrada. Uporaba novih materijala omogućuje izvedbu bolje zaštite od buke koja je učinkovitija nego prije. Istovremeno, različite funkcije zgrada određuju različite zahtjeve u postizanju kvalitetne akustike prostorija. Uz osnovne karakteristike fizikalne pojave zračnog zvuka, u radu će se prezentirati mogućnosti poboljšanja akustike prostorija. Analizirani će biti glavni elementi koji određuju akustičke karakteristike prostorija i primjena apsorpcijskih materijala i elemenata u funkciji poboljšanja akustike prostorija.

Postoji *Pravilnik o najviše dopuštenoj razini buke u prostorijama gdje ljudi rade i borave* kojemu je cilj smanjenje utjecaja buke. Pravilnikom se ostvaruju poboljšanja zvučno izolacijske udobnosti u zgradama s više prolaza, te se poboljšavaju propisi za odvojene zidove stanova. Tehnička rješenja daju veću razinu zvučno izolacijske udobnosti nego norme. U pravilniku se ne uzima u obzir činjenica koja individualizira različite razine osjetljivosti na buku, pa to postaje stvaran izazov za arhitekta, inženjere, stručnjake za akustiku i graditelje domova da stvaraju tiše zgrade. Kontrolirajući buku i upijajući zvuk možemo stvoriti udobniji životni okoliš. Velika je razlika između mehanizma izolacije zvuka efektom mase (teški zid) i sustava laganih dvostrukih pregradnih zidova (masa-opruga-masa). U nastavku rada će se prikazati nekoliko načina zaštite od buke laganim pregradnim zidovima upotrebom *Isover* izolacija.

Pod pojmom „zvučna izolacija“ razlikujemo izolaciju buke od koraka i izolaciju zračne buke. Pod zračnu buku spadaju zvukovi iz susjednog stana, glasovi ili glazba i dr. U mnogim slučajevima zvučnu izolaciju možemo izvesti preko prepreka koje reflektiraju zvuk, kroz zid ili kroz zavjesu. U svakom slučaju za razdvajanje stanova odnosno vanjskih zidova potrebno je provesti odgovarajuće mjere. Masivni građevinski zidovi se moraju zvučno izolirati višeslojnim konstrukcijama ili odgovarajućim međuslojevima. Prekidima zidne kompozicije na vanjskim zidovima može doći do pogoršanja zvučne izolacije. Ti sporedni putevi prolaza zvuka mogu se spriječiti samo dobrom izvedbom konstrukcije. Pod izolacijom buke od koraka podrazumijeva se smanjenje prijenosa vibracijske buke npr. pri hodu po stropu ili recimo pomicanje stolaca. Buka

od koraka potječe uglavnom iz stana kat iznad. Izolacija buke od koraka postiže se težinom stropa te preko elastičnog međusloja ispod podloge za hodanje. Tu najčešće koristimo čvrste, ekstrudirane pjene polistirola. Odluku o zvučnoj izolaciji pri gradnji donosi investitor. U ovom radu bit će opisano širenje zvuka u zatvorenim i otvorenim prostorima. Opisat ću fizikalna svojstva zvuka, akustičku kvalitetu prostorija, kako volumen i oblik prostorije utječu na širenje zvučnih valova, što je reverberacija te kako ona utječe na komunikaciju, apsorpcijski materijali i elementi te njihova svojstva, porozni materijali, što su membranski, a što rasonatorski apsorberi. Usporedit ću različite zvučno izolacijske materijale te odabrati optimalno rješenje za uloženo-dobiveno. Posebno ću se posvetiti izvedbi zvučne izolacije u glazbenim studijima jer smatram kako je to najbolji primjer gdje zvučna izolacija treba biti vrhunski izvedena. Kao primjer zvučne izolacije te izvor podataka uzeo sam glazbeni studio "Viton music studio".

## 2. Općenito o zvuku

Zvuk, kao fizikalna pojava titranja čestica, predstavlja uobičajeno sredstvo ljudske komunikacije. Danas gotovo da nema trenutka u kojem zvuk možemo isključiti iz životnih funkcija. Stoga je jasno da je zvuk od velike važnosti čovjeku. Gotovo sve pojave ili procesi u životnom okruženju stvaraju neki zvuk. Neke pojave stvaraju vrlo visoke razine zvuka dok druge vrlo male, čak jedva čujne. Nagli razvitak industrije, tehnologije i prometa, unio je u čovjekov život vrlo jake izvore zvuka. Naravno da nagli razvitak razvitak nije zaobišao ni graditeljstvo. Poseban napredak se dogodio u području materijala s cementom, među koje spadaju nove vrste betona i mortova. Sa novim građevinskim materijalima došli su i novi problemi što se tiče apsorpcije zvuka jer manje upijaju zvuk od starih, masivnih materijala te se time povećala razina buke. Time se još i narušila koncentracija ljudi koji borave u zgradama jer se stvara velika buka. [1]

Kada je riječ o buci, zapravo govorimo o željenom ili neželjenom zvuku. Hoće li se neki zvuk predstavljati kao buka ne ovisi o vrijednosti njegove razine, nego o činjenici ometa li on čovjeka ili ne. Za buku, na primjer, možemo navesti vodu koja kaplje iz slavine iako je niske razine svejedno ometa čovjekov rad. Također za zvuk na rock koncertima ne možemo reći da je buka, iako je ekstremno visoke razine. Ova dva primjera najbolje prikazuju problem s kojima se susreće građevinska akustika koja treba osigurati da zvuk koji nastaje u zgradama nikoga ne ometa. Naime zaštitu od neželjenih zvukova danas je veoma teško postići, stoga treba poštivati propise o zaštiti od buke. Uz to, moguće je raznim mjerama u području građevinske akustike osigurati udobnost boravka čovjeka u zgradama. Osiguranje akustičke kvalitete prostorija vrlo je važan element svakog kvalitetnog procesa građenja. Namjena zgrade određuje koliki treba biti značaj akustike, odnosno njezin unutrašnji sadržaj i okruženje u kojem se nalazi. U stambenim i poslovnim objektima, kao najraširenijem vrstama zgradama, akustička kvaliteta je predvođena zakonima. Od velike važnosti su i ljudske aktivnosti koje definiraju uvjete koje treba zadovoljiti da bismo mogli govoriti o akustičkoj kvaliteti prostorija. U nekim dijelovima zgrada u kojima ljudi ne boravi neko duže vrijeme, akustička kvaliteta kao tema pri projektiranju zgrada se posebno ne razmatra. U ovom radu prikazane su akustičke karakteristike materijala i elemenata u svrhu poboljšanja akustičke kvalitete prostorija u kojima boravi čovjek. [1]

### 3. Fizikalna svojstva zvuka

Zvuk je titranje čestica u plinovitim, tekućim i krutim tvarima. Zvukom se u užem smislu naziva sve ono što čujemo. U plinovima i tekućinama valovi zvuka su uvijek longitudinalni, tj. šire se u istom pravcu u kojem se gibaju čestice medija pri titranju, dok u čvrstim tijelima valovi mogu biti i transverzalni, tj. čestice medija mogu titrati i okomito na pravac širenja zvučnog vala. Zvučni valovi se ne mogu širiti kroz vakuum. Oni se kroz različite medije kreću različitim brzinama. Brzina ovisi i o temperaturi medija kroz koji se zvuk kreće. U zraku se pri temperaturi od 20°C ti valovi kreću brzinom od 300 m/s, u vodi se kreću približnom brzinom od 1500 m/s, dok se u željeznoj žici kreću brzinom od 5000 m/s. Što je materijal gušći, zvuk se kroz njega prenosi duže i brže. Visinu pojedinog zvuka određuje frekvencija zvučnog vala. Val ima svojstvo da se ciklički ponavlja u vremenu pa jedno takvo ponavljanje nazivamo valnim ciklusom. Frekvenciju vala možemo definirati kao broj ciklusa vala koji se ponavlja u jednoj sekundi. U slučaju našeg zvučnog vala, jedan ciklus traje onoliko koliko je potrebno da se tlak promijeni od najvećeg, preko najnižeg do ponovno najvećeg tlaka, a frekvencija označava koliko se takvih cikličkih promjena tlaka dogodi u jednoj sekundi. Frekvencija se mjeri u Hz (Hertz-ima), a označavo je sa  $f$  [ef]. Frekvencija od 100 Hz označava učestalost, odnosno ponavljanje jednog valnog ciklusa 100 puta u sekundi. Povećanjem broja ciklusa u sekundi povećava se frekvencija zvuka, a takav zvuk registriamo kao viši. S druge strane, smanjenjem frekvencije zvuka dobivamo niže, odnosno dublje tonove. Prosječno ljudsko uho može čuti zvukove frekvencijskog raspona od 16 Hz do 20 000 Hz ( 20 kHz) . Sve frekvencije ispod 16 Hz nazivamo infrazvuk, a frekvencije više od 20 000 Hz nazivamo ultrazvuk. Važna karakteristika svakog vala, pa tako i zvučnog, jest njegova valna duljina. Kod zvučnog vala valna duljina označava udaljenost između dva susjedna najveća zgušnjavanja, odnosno razrješenja. Naravno, valnu duljinu zvuka ne možemo vidjeti, ali je posebnim instrumentima možemo izmjeriti. Karakteristike frekvencije, valne duljine i brzine zvuka u međusobnom su odnosu, što znači da ako su nam poznate dvije od ove tri veličine, možemo izračunati i treću. Na putu što ga zvuk prewali u jednoj sekundi ima upravo toliko valova kolika mu je frekvencija. Prema tome, valna duljina ( $\lambda$ ) može se izračunati iz brzine širenja zvuka ( $c$ ) i frekvencije ( $f$ ) (1): [1]

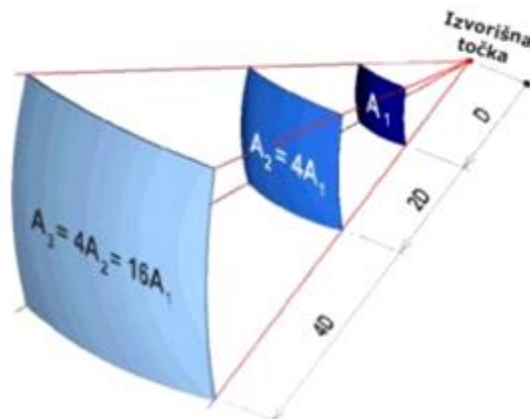
$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ [m]} \quad (1)$$

Čovjek kod zvuka uglavnom razlikuje visinu tona (frekvenciju) i njegovu jačinu. Budući da je jačina zvuka uhom subjektivna tj. Ovisi od čovjeka do čovjeka, u fizici je bilo potrebno uvesti objektivne mjere. U elastičnoj tvari zbog titranja čestica nastaje zvučni tlak kojeg mjerimo mikrobarima ili paskalima ( $1b = 1Pa$ ). Čujno područje zvučnog tlaka nalazi se između tzv. čujnog praga koji iznosi 0,2 Pa i praga boli koji iznosi 20 Pa. Iz toga zaključujemo da je omjer

između čujnog praga i praga boli 1:106 , pa će omjer zvučnih snaga iznositi 1:1012. Takva bi ljestvica, čiji bi najveći broj imao 12 nula, bila vrlo nepogodna pa se upotrebljava logaritamska ljestvica s bazom 10, za logaritme brojeva od 1 do 1012. Prema fizičaru Bellu, ljestvica je podijeljena na 12 dijelova, 12 B odnosno 120 dB (deciBella),  $1 \text{ dB} = 1/10 \text{ B}$ . Decibel je jedinica bez dimenzije, a služi za iskazivanje omjera dvije istorodne veličine (zvučni tlak, zvučna snaga, zvučni intenzitet). S tako definiranom ljestvicom tihi zvukovi u životnoj sredini su reda veličine 20- 30 dB, normalan govor je nivoa 60-70 dB, a glasni zvukovi (npr. glasna glazba) ima razine 90-110 dB, pa i više. [1]

### 3.1. Širenje zvuka u otvorenom prostoru

Kako bi objasnili zašto zvuk s udaljenošću slabi, poslužiti ćemo se analogijom bacanja kamena u jezero. Valovi najviše amplitude pojavljuju se kada je kružni val u svom nastanku. Kako se val udaljava od svog izvora, tako su i njegovi koncentrični krugovi sve veći pa je i val sve dulji. Kako ukupna energija vala po iznosu ostaje ista, ona se mora rasporediti unutar sve duljeg i duljeg vala, što znači da se iznos energije po jedinici duljine smanjuje. Posljedica toga je smanjenje amplitude vala. Ista se događa i sa zvučnim valom koji se, pušten iz svog izvora, širi kružno, jednako u svim smjerovima (slika 3.1.1.). Kako se udaljava od izvora, gubi energiju po jedinici svoje dimenzije, odnosno pada mu amplituda, a upravo amplituda zvučnog vala određuje glasnoću zvuka – s padom amplitude, dok prelazi put, zvuk postaje sve tiši i tiši. [1]

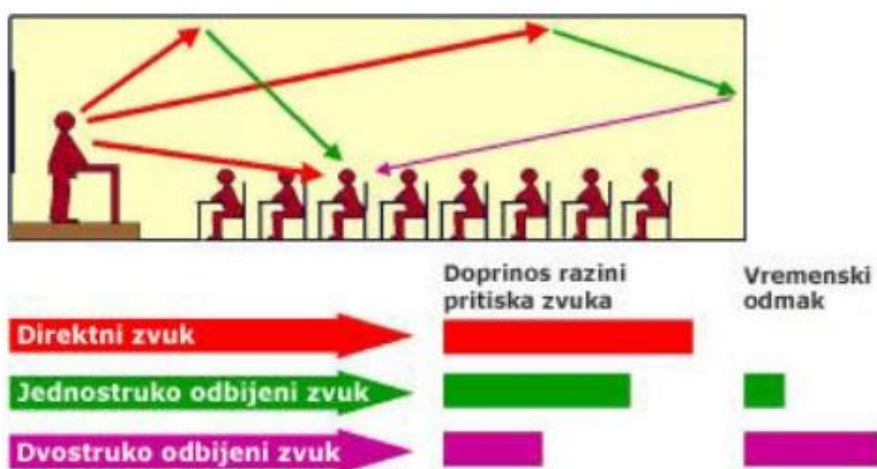


Slika 3.1.1. Smanjenje razine zvuka povećanjem udaljenosti od izvora

Za zvuk možemo reći da ima dva značenja: subjektivno ili psihološko i objektivno ili fizikalno. U prvom smislu zvuk je vezan za sam čovjekov sluh, a u drugome to je energija koja se širi i onda kada nema uha koje bi je otkrilo. Za nas je važnije subjektivno značenje, jer se u građevinskoj akustici razmatraju zvučne pojave koje čuje normalno ljudsko uho, a i konačan sud o akustičkoj kvaliteti neke prostorije donosi se na temelju slušanja.[1]

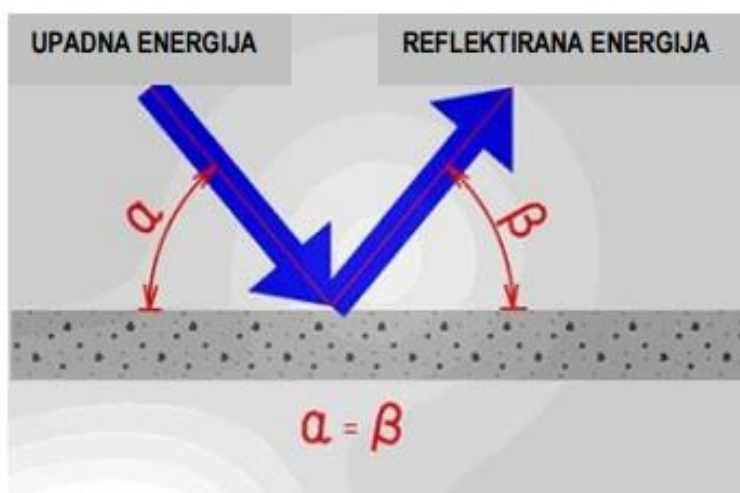
### 3.2. Širenje zvuka u zatvorenom prostoru

Govorimo li o zatvorenom prostoru tada zvučni val udara u površinu konstrukcije građevine prije nego znatno oslabi. Zvučno polje u zatvorenom prostoru nije sferno, ali ovisi o geometriji i akustičkim svojstvima tih površina. Volumen prostorije i udaljenosti između izvora zvuka, površine konstrukcija građevina i mjesta slušanja također su važni. Zvuk se na određenom mjestu slušanja u prostoriji sastoji od direktnog i reflektiranog zvuka. Direktni zvuk jest zvuk koji se još nije odbio od neke površine. Zbroj svih reflektiranih zvukova zove se reverberacijsko zvučno polje. To se polje sastoji od svih zvukova koji su se odbili jedanput, dvaput ili više puta od površina konstrukcije građevine. Zvuk koji je reflektiran jednom zove se prva refleksija, dvaput druga refleksija itd. [1]



Slika 3.2.1. - Širenje zvučnih valova u zatvorenom prostoru

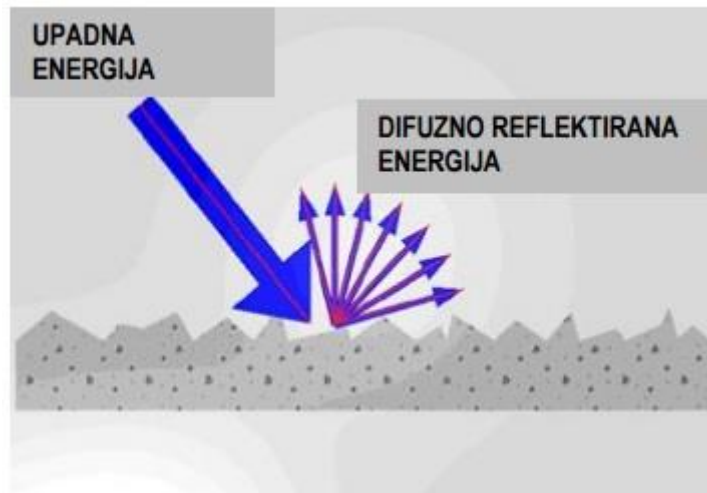
Veći dio energije zvučnog vala reflektira se kad udari o površinu tvrdog građevnog materijala. Kut upada 'a' jednak je kutu refleksije 'b' za ravne površine. Ako se površina ne može smatrati ravnom, refleksija će biti difuzna. [1]



Slika 3.2.2. - Refleksija zvuka od glatke površine građevinskog elementa



Općenito, refleksija nikad nije potpuna kao što je prikazano na slici 3.2.3., čak i kod vrlo tvrdih građevnih materijala. Betonski zid, primjerice, tipično ima koeficijent apsorpcije 1% pri niskim frekvencijama, a 3% pri visokim frekvencijama. Refleksija zvučnog vala, kad on udari u materijal, događa se zbog posebnog akustičkog svojstva koje se može nazvati akustički otpor (akustička impedancija). Svi materijali imaju svoj akustički otpor, od vrlo malog kod zraka, do vrlo visokog kod, na primjer, betona, stakla, keramičkih pločica itd. [1]



*Slika 3.2.3. - Refleksija zvuka od difuzne površine građevinskog elementa*

Da bi izbjegli jeku i veliku koncentraciju zvuka koriste se difuzne površine. Difuzija je također važna i na suptilniji način, primjerice u prostorijama uređenima za glazbu (studijima). Postoje mnogi načini konstruiranja difuzne površine. Zid ili strop može se opremiti nagnutim, zakrivljenim ili pomaknutim panelima. Dimenzije difuznih panela moraju odgovarati valnoj dužini zvuka koji treba raspršiti. Jedno od osnovnih pravila jest da izbočine moraju doseći najmanje jednu sedminu valne dužine zvuka. Iz kuta upada vala nam proizlazi koeficijent apsorpcije. [1]

## 4. Akustička kvaliteta prostorija

Znanost o akustici prostorija tek se budi. U proteklih nekoliko desetaka godina zanimanje za akustiku prostorija naglo je poraslo. Akustička kvaliteta koja se dobiva prijenosom preko medija kao što su radio, televizija, itd., uvelike ovisi o akustičkim osobinama prostorija iz kojih se prenosi. Istotako, akustični sistemi danas igraju veliku ulogu pri projektiranju predavaonica, uredskih prostorija, bolnica, hotela itd. Tome je jedan od razloga uporaba modernih građevnih materijala koji manje apsorbiraju zvuk nego stari materijali. Zato je odjek često prevelik, čime se pojačavaju buka i smetnje. Građevinska akustika zato ima zadatak da u prostorijama stvori uvjete za dobro i ugodno slušanje. Pritom trebaju biti zadovoljni ne samo slušači, nego i govornik. Da bi postigli dobru akustiku u prostoriji, potrebno je zadovoljiti sljedeće uvjete:

1. u prostoriji ne smije biti buke, niti unutarnje niti vanjske
2. zvuk u prostoriji mora biti dovoljno glasan na svim mjestima
3. u prostoriji ne smije biti jeke
4. glasnoća zvuka mora biti približno posvuda jednaka, što znači da na mjestima udaljenijim od izvora zvuka, izvornom zvuku treba dodati reflektirani zvuk od prikladno postavljenih ploha u prostoriji
5. u prostoriji ne smiju nastati neželjene rezonancije
6. odjek mora biti dovoljno malen da bi se izbjegla preklapanja uzastopnih zvukova u govoru i glazbi, zbog toga direktan zvuk mora biti u određenom odnosu prema reflektiranom. [1]

Teorijska razmatranja i mjerenja u ponekim prostorijama pokazala su da optimalna duljina odjeka ovisi o veličini prostorije, ali i o tome za koje svrhe se ona upotrebljava. Oblike prostorije je isto važan jer utječe na raspodjelu zvuka. Tako dolazimo do tri važna čimbenika koji određuju akustičke karakteristike prostorije, a to su volumen, oblik i odjek (reverberacija). [1]

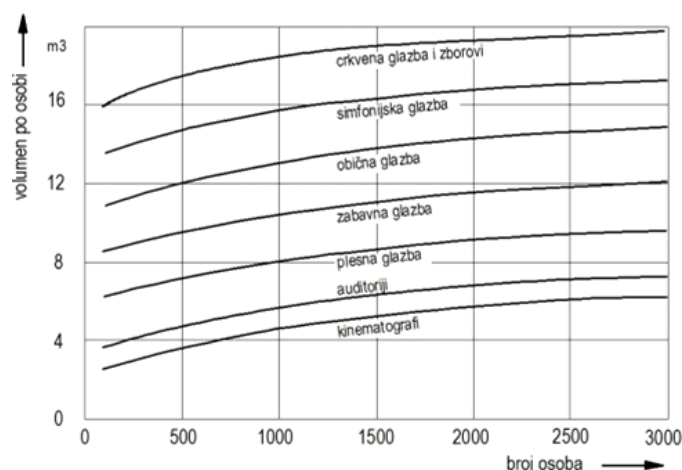
### 4.1. Volumen prostorije

Određeni volumen prostorije odgovara određenom izvoru zvuka. Moramo pritom pripaziti koliki ćemo volumen prostorije odrediti jer uvijek postoji neka granica gdje glasnoća može postati premalena. Ako povećavamo volumen prostorije, raste i unutarnja površina te prostorije pa je samim time i apsorpcija zvuka veća. Iz toga zaključujemo da uz jednaku emitiranu zvučnu energiju, imamo manju ili veću glasnoću. Da postignemo veću glasnoću smanjit ćemo volumen prostorije. [1]

Izvor zvuka	Maksimalni volumen dvorane u m <sup>3</sup>
Prosječan govornik	3 000
Uvježban govornik	6 000
Instrumentalni ili vokalni solist	10 000
Simfonijski orkestar	20 000

Tablica 4.1.1. - Orijentacijske vrijednosti volumena za neke izvore zvuka

Osnova po kojoj se određuje volumen koncertnih dvorana jest volumen po slušatelju. Minimalni specifični volumen po slušatelju je 6,5 m<sup>3</sup> ispod kojega se ne bi smjelo ići ako se želi postići akustička kvaliteta. Optimalan specifični volumen bi bio između 7 – 8 m<sup>3</sup> po slušatelju. Ako bi se išlo na veće volumene, bilo bi problema s reverberacijom pa bi se morala dodavati apsorpcijska sredstva. Dijagram na slici 4.1.2. prikazuje ovisnost specifičnog volumena o broju slušatelja za razne vrste glazbe. Iz dijagrama se može primijetiti da ima veće vrijednosti od gore spomenutih, no on vrijedi ako je apsorpcija prostorije jednaka apsorpciji prisutnih slušatelja. [1]



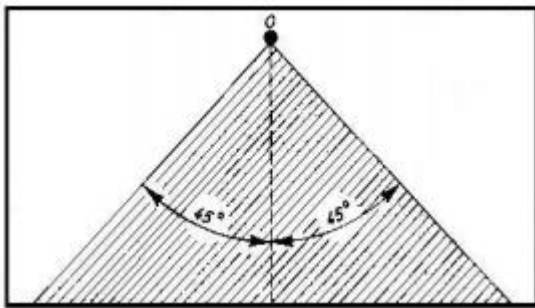
Slika 4.1.2. – Najmanji volumen prostorija ovisno o broju osoba za različite vrste glazbe

Optimalan volumen za koncertnu dvoranu bi bio između 10 000 i 15 000 m<sup>3</sup>. Dobri se rezultati mogu postići i uz manje volumene, od 6000 do 7000 m<sup>3</sup>. Nije preporučljivo ići na veće volumene, jer tada može doći do teškoća prilikom solističkih izvedaba. Na osnovi ovih predočenih podataka proizlazi da koncertna dvorana optimalnih akustičkih svojstava može primiti 1600 – 1700 slušatelja. Za kino-dvorane volumen po sjedalu kreće se između 3 i 4 m<sup>3</sup>. Zbog tako malog volumena po osobi potrebno je osigurati dobru ventilaciju. Veći volumen bio bi štetan iz dva razloga. Prvo, većim volumenom strop bi bio viši pa bi zbog toga bio slabije iskorišten kao reflektor zvuka i drugo, odjek bi bio vrlo velik. Za predavaonice se uzima kao optimalan volumen 4 – 5 m<sup>3</sup> po sjedalu, odnosno osobi.

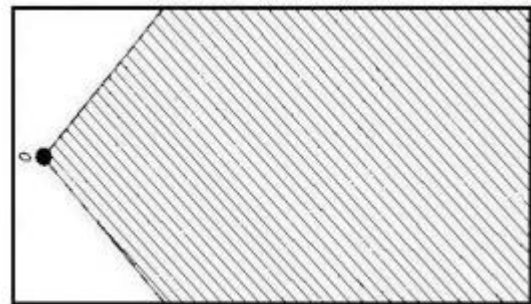
[1]

## 4.2. Oblik prostorije

Jedan od najvažnijih čimbenika o kojemu ovise akustička svojstva prostorije jest njezin oblik. Zbog toga je vrlo važno već u procesu projektiranja svim prostorijama i unutarnjim plohamu odrediti ispravan oblik i položaj. U suprotnom, ako se o ovome ne vodi računa, u objektu se mogu pojaviti akustički nedostaci koje je kasnije gotovo nemoguće ukloniti. Prilikom akustičkog projektiranja, pažnju je potrebno posvetiti svim plohamu prostorije. To se odnosi na pod i strop, na bočne strane, prednju i stražnju stranu te strop ispod balkona. Kada govorimo o raspodjeli zvuka u prostoriji, važno je znati da zvuk dolazi do slušatelja što kraćim putem. Prema tome, prostorija tlocrtnog oblika kao na slici 4.2.1. povoljna je oblika, jer su zvučne zrake od govornika pa do najudaljenijeg slušatelja gotovo jednake. No ipak, ta prostorija nije akustički ispravna. Da bi slušatelji mogli govornika dobro čuti, moraju se nalaziti unutar kuta od  $\pm 45^\circ$  ispred govornika. Kao što se vidi na slici, veliki dio prostorije ostaje izvan toga kuta pa prema tome ta prostorija akustički ne odgovara. Iz akustičkog aspekta bolja je prostorija s tlocrtom na slici 4.2.2.. [1]

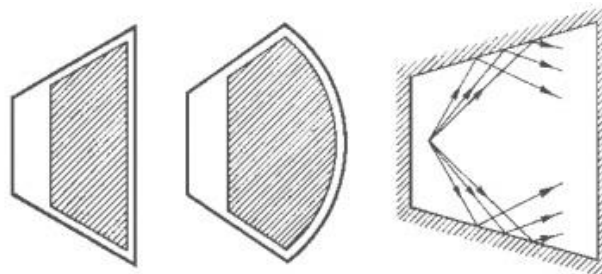


Slika 4.2.1. Neispravno smještanje izvora zvuka



Slika 4.2.2. Ispravno smještanje izvora zvuka

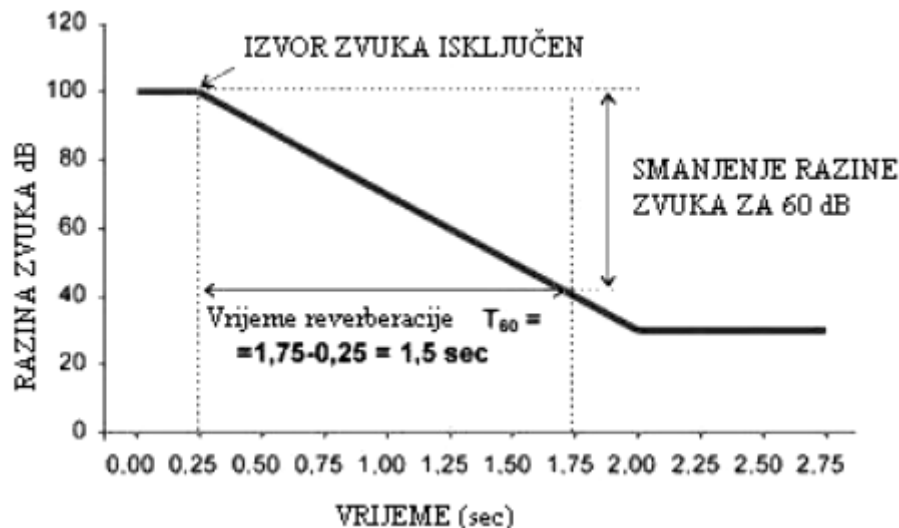
Iz akustičkog aspekta vrlo su povoljne prostorije trapezna ili lepezasta oblika, jer tada imamo usmjereni kut i kratak razmak između govornika i slušatelja (slika 4.2.3.). Tada bočne stijene prostorije postaju dobar reflektor koji ravnomjerno reflektira zvuk po cijelom auditoriju. [1]



Slika 4.2.3. - Za auditorije vrlo je povoljan lepezast tlocrt dvorane

### 4.3. Reverberacija ili odjek

Ako se nalazimo u dugačkim hodnicima ili velikim halama, možemo čuti zvuk i poslije prestanka emisije zvučnog izvora. Uzrok ovomu su višestruke refleksije koje daju utisak da zvuk traje dosta dugo. Ova pojava je poznata kao odjek ili reverberacija. Za vrijeme svake refleksije, dio zvučne energije je apsorbiran pa će poslije izvjesnog vremena zvuk prestati. Vrijeme reverberacije definira se kao vrijeme koje je potrebno da se razina zvuka smanji za 60 dB nakon što je izvor zvuka isključen (slika 4.3.1.). [1]



Slika 4.3.1. - Grafički prikaz određivanja vremena reverberacije

Temelje akustici prostorija i proučavanju reverberacije postavio je američki fizičar W. C. Sabine. On je još davne 1895. godine započeo svoja istraživanja na Harvardskom sveučilištu gdje je pokušao popraviti vrlo lošu akustiku u velikoj sveučilišnoj predavaonici. Nakon niza eksperimenata, Sabine je zaključio da je uzrok loše akustike dugotrajno prigušivanje zvučne energije, što se događa tek nakon mnogo refleksija i pri čemu se svaki puta dio energije apsorbira. Drugim riječima, nerazumljivost govora posljedica je predugog odjeka. Služeći se sredstvima koja su mu u ono vrijeme bila dostupna te vlastitim sluhom, Sabine je, na osnovi svojih mjerenja, uspio izvesti formulu za izračunavanje vremena reverberacije koja i danas vrijedi:

$$T = \frac{0,161 \cdot V}{A} \text{ [s]} \quad (2)$$

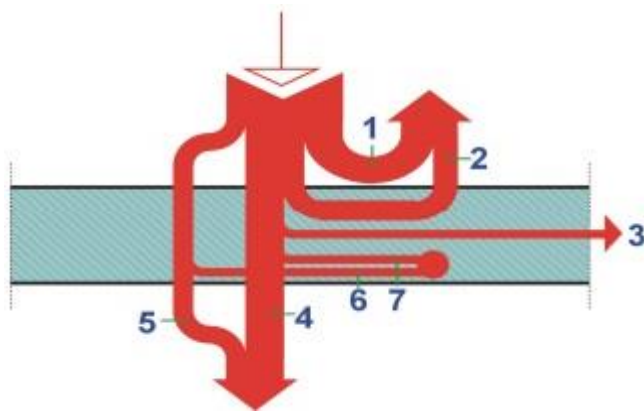
"T" je vrijeme u sekundama, "A" je ukupna apsorpcijska površina prostorije izražena u kvadratnim metrima, dok je "V" volumen prostorije. Prevelika reverberacija uzrokuje da nam izgovorene riječi zvuče neobično, a za slušatelja na malo većoj udaljenosti i nerazgovjetno. S druge strane, premala reverberacija uzrokuje da je zvuk „tup“ i prigušen. Za velike koncertne

dvorane, kino dvorane, ali i za obične prostorije potrebno je prilagoditi željenu vrijednost reverberacije zbog ugodnog boravka i slušanja glazbe. Za čovjeka je najpogodnije vrijeme reverberacije u namještenim sobama između 0,7 i 1,5 s. U velikim prostorijama, dvoranama, velika reverberacija izaziva nerazumljivost govora, lošu reprodukciju glazbe itd. Ona se smanjuje presvlačenjem zidova rupičastim drvenim ili sličnim pločama. Zbog potrebe za uobičajenom reverberacijom, koncertne, operne i baletne probe se izvode redovito pred punom dvoranom, jer se jedino tako može ocijeniti je li glazbena proba postigla određenu kvalitetu. Često se u praksi u koncertnim dvoranama postavljaju reflektori. Njihova uloga je sprječavanje efekta prve refleksije. Vrijeme između kojeg do slušatelja dođe direktan zvuk i prvi reflektirani zvuk stvara utisak izoliranosti. Zato se reflektori postavljaju da stvore raniji prvi reflektiran zvuk i umanje opću reverberaciju. [1]

## 5. Apsorpcijski materijali i elementi

Sve plohe, svi materijali i predmeti u nekoj prostoriji apsorbiraju zvuk. Kad se govori o apsorpcijskim materijalima ili o apsorpcijskim konstrukcijama, misli se na one kojima je osnovni zadatak da svojim akustičkim svojstvima proizvedu kontroliranu apsorpciju. Svrha je takvih akustičkih materijala i elemenata u praksi da: 1) skrate vrijeme odjeka, 2) otklone pojavu jeke i 3) priguše buku. Zvuk se u nekom materijalu apsorbira na taj način što se pretvori u drugi oblik energije i, konačno, u toplinu. Kad zvučni val udari u neku plohu, jedan se dio zvučne energije reflektira, a ostatak se apsorbira i propusti (slika 5.1.). Pod koeficijentom refleksije  $r$  razumijeva se odnos amplitude tlaka reflektiranog vala prema amplitudi tlaka upadnog vala. Koeficijent apsorpcije  $\alpha$  definiran je odnosom apsorbirane prema upadnoj zvučnoj energiji. Kako je zvučna energija razmjerna kvadratu amplitude tlaka, za koeficijent apsorpcije vrijedi:

$$\alpha = 1 - r \text{ [%]} \quad (3)$$



Slika 5.1. Raspodjela energije zvučnog vala

- 1 - dio energije zvučnog vala koji se reflektira natrag u prostoriju
- 2 - dio energije vibriranja pregrade vraća se natrag u istu prostoriju
- 3 - manji dio širi se uzduž pregrade
- 4 - preostalu energiju zrači pregradna stijena u prijemnu prostoriju
- 5 - ako je element porozan, dio zvučne energije prelazi u prijamnu prostoriju koji udari u građevinski element zračnim putem kroz pore [1]

Akustičke osobine apsorpcijskih materijala mogu se opisati i akustičkom impedancijom. Ona je definirana kompleksnim odnosom zvučnog tlaka i odgovarajuće titrajne brzine čestica na površini materijala. No matematička obrada problema u akustici prostorija uz pomoć akustičke impedancije vrlo je složena pa za normalnu praksu nije prihvatljiva. [1]

U praktičnoj graditeljskoj akustici susreću se tri vrste apsorpcijskih materijala i elemenata:

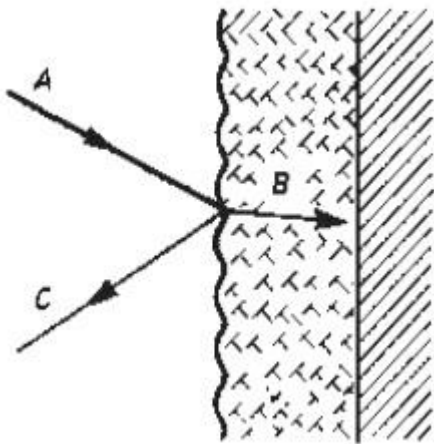
1. porozni
2. membranski
3. rezonatorski. [1]

## 5.1. Porozni materijali

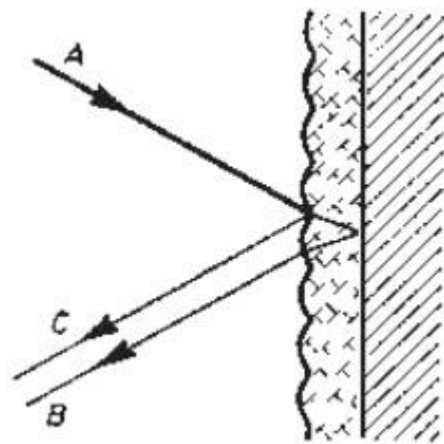
Tipični porozni apsorpcijski materijali su tekstilni produkti od vune, pamuka i svile, izrađevine od biljnih niti (koks, juta i dr.), mineralna vuna, strugotine od drveta, staklena vuna itd. U njima se zvuk apsorpira na taj način što on potakne zrak u porama na titranje pa se trenjem zraka o stjenke pora zvučna energija „poništava“, tj. pretvara u toplinu. Ona se u porama troši i zbog razmjene topline stijenki materijala i ugrijanog komprimiranog ili ohlađenoga razrijeđenog zraka. Koeficijent apsorpcije poroznih materijala ovisi o:

1. debljini sloja
2. frekvenciji
3. otporu strujanju
4. poroznosti
5. faktoru strukture. [1]

U debljemu poroznom sloju (slika 5.1.1.) apsorpira se cijela zvučna energija koja prođe u sloj te se pretvara u toplinu, pa je koeficijent određen samo reflektiranim dijelom. Ako je sloj tanak (slika 5.1.2.), jedan se dio zvučne energije, koji prođe kroz sloj, reflektira od tvrde stijene pa je koeficijent apsorpcije manji. [1]



Slika 5.1.1. Apsorpcija zvuka u debelom poroznom sloju poroznog apsorbera

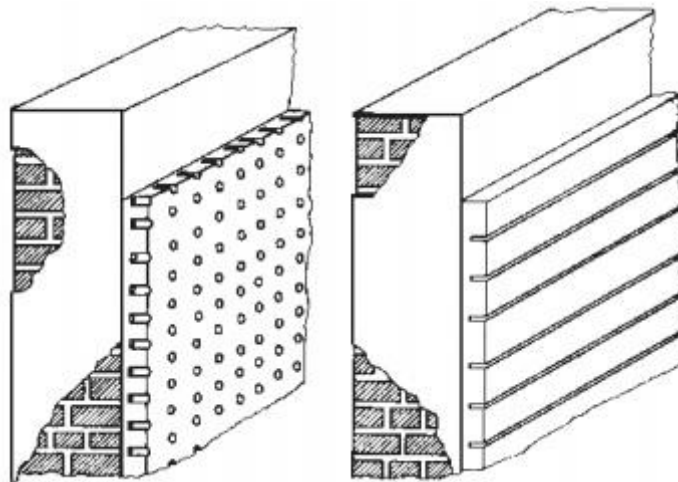


Slika 5.1.2. Apsorpcija zvuka u tankom sloju

Koeficijent apsorpcije poroznih materijala ovisan je o otporu strujanju. Tako se maksimalni koeficijent apsorpcije od 0,8 dobiva pri otporu strujanju od  $104 \text{ m}^{-3} \text{ kg s}^{-1}$ . Takav otpor strujanju ima vrlo rastresit sloj od vlaknaca. Koeficijent apsorpcije tvrdo tlačene ploče od drvenih vlaknaca 1 cm debele, najveći je pri otporu strujanju od  $106 \text{ m}^{-3} \text{ kg s}^{-1}$  i iznosi manje od 0,1. Sagovi su tipični materijali s velikom apsorpcijom u području srednjih i visokih frekvencija. Najčešće im je otpor strujanju optimalan, tako da imaju maksimalan koeficijent apsorpcije. [1]



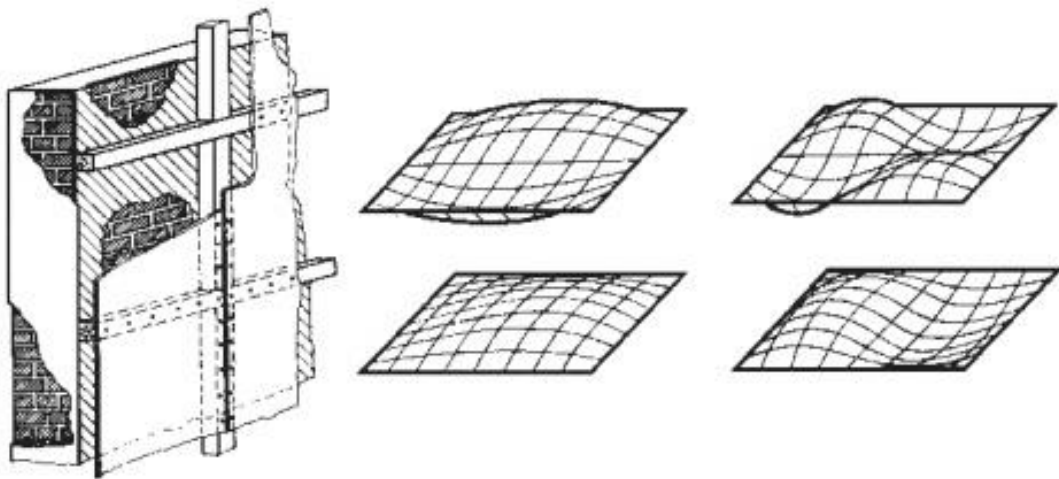
Kao što smo napomenuli prije, koeficijent apsorpcije dosta ovisi i o poroznosti materijala. Poroznost je definirana odnosom volumena zraka u porama i ukupnog volumena. Ta dva čimbenika, otpor strujanju i poroznost, nisu dovoljna da se karakterizira neki porozni materijal. Kanali u materijalu mogu teći u raznim smjerovima i mogu završavati slijepo, a to nije obuhvaćeno ni poroznošću ni otporom strujanju. Te geometrijske osobine materijala utječu na višim frekvencijama, što se u račun unosi faktorom strukture. Tek uvođenjem tog faktora bilo je moguće objasniti veliko apsorpcijsko djelovanje tzv. akustik-ploča. Ploče imaju rupe promjera većeg od 4mm, razmak između njih oko 15 mm, tako da na kvadratni metar dolazi više od 4 000 rupa (slika 5.1.3.). Akustik-ploče najrašireniji su akustički materijal, a upotrebljavaju se u školama, bolnicama, uredima, hotelima, svugdje gdje je potrebno prigušiti buku i smanjiti odjek. [1]



*Slika 5.1.3. Akustik-ploče: lijevo s okruglim rupama, desno s urezanim brazdama*

## 5.2. Membranski apsorberi

U praksi se membranski apsorberi izvode kako je prikazano na slici 16. Preko rešetke od letava pričvrsti se tanka ploča ili membrana od drveta, ljepenke, kože uljnog platna i sl. Apsorpcija nastaje tako da dio ploče koji pokriva pojedino polje rešetke pod djelovanjem zvučnih valova titra, na što se troši energija zvuka. Ploča može titrati na više načina (slika 5.2.1.). Najveća apsorpcija nastaje na osnovnoj rezonantnoj frekvenciji. [1]



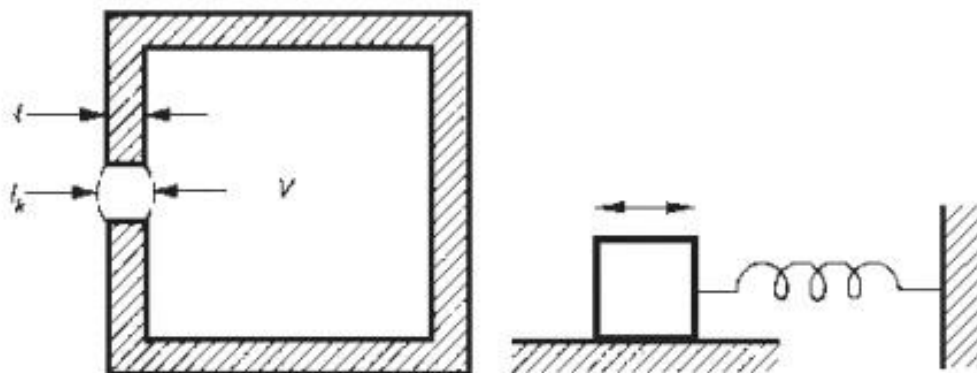
*Slika 5.2.1. Primjer konstrukcije membranskog apsorbera i nekoliko načina titranja ploče*

Koeficijent apsorpcije membranskih apsorbera može se znatno povećati stave li se porozni apsorpcijski materijali u prostor zračnog jastuka. Pritom nije potrebno ispuniti cijeli prostor, dovoljno je da se materijal stavi samo uz okvir. Mijenjanjem debljine ploče, debljine zračnog jastuka i načinom akustičke obrade prostora iza ploče, može se znatno utjecati na vrijednost koeficijenta apsorpcije zvuka. [1]

U građevinama i unutrašnjoj opremi prostorija ima mnoštvo nehodičnih membranskih apsorbera. Obješeni strop od gipsa, drvene obloge ili drveno opločenje, ormari, prozori, vrata itd., sve su to apsorberi koji povoljno djeluju na niskim frekvencijama jer smanjuju vrijeme odjeka. Poznat je neugodan osjećaj u podrumima, kupaonicama i sličnim prostorijama gdje apsorbera membranskog tipa nema, pa je vrijeme odjeka u niskom frekvencijskom području vrlo dugo. [1]

### 5.3. Rezonatorski apsorberi

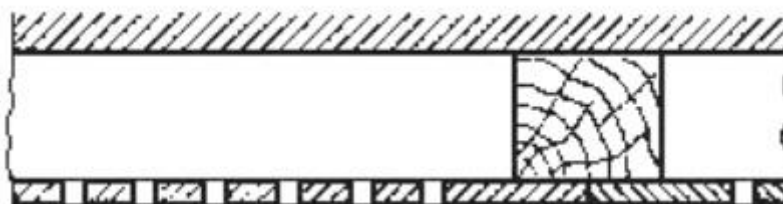
Za rezonatorske apsorbere upotrebljavaju se akustički rezonatori. To su kutije ili posude s otvorom kojima zrak u otvoru, grlu, predstavlja masu koja pod djelovanjem zvučnog tlaka titra, a volumen zraka u samoj kutiji ili posudi, služi kao opruga (slika 5.3.1.). [1]



Slika 5.3.1. Akustički rezonator i analogni mehanički rezonator

O zanimljivoj uporabi rezonatora piše Vitruvius u knjizi De Architectura. U starim grčkim i rimskim kazalištima bile su ispod sjedala smještene vaze od bronce otvorima okrenute prema orkestru. Vaze su bile ugođene na tonove glazbala. Prema Vitruviusu, svrha vaza bila je „da pojačaju i poljepšaju zvuk“. Danas se zna da su rezonatori bili postavljeni da bi proizveli umjetni odjek (0,5 – 2 s). [1]

Panelni rezonatori grade se najčešće tako da se čvrsta tanka panelna ploča s izbušenim okruglim ili duguljastim rupama učvrsti na stanovitoj udaljenosti od zida (slika 5.3.2.). Ako su rupe okrugle, obično im je promjer 3-5 mm, a međusobni razmak 10-15 mm. [1]



Slika 5.3.2. Presjek panelnog akustičnog rezonatora

## 6. Materijali za zvučnu izolaciju

Buka u stanu jedna je od najvećih neprilika i smetnji. Prečesto smo ne našom voljom svjedoci događanja u susjednim stanovima, bez obzira radi li se o dječjoj igri ili glasnoj muzici. Kako bi sebi stvorili toliko potreban mir dodatnim mjerama zvučne zaštite potrebno je samo nekoliko poteza. Najprije trebate utvrditi otkud buka potječe. Točno određivanje putova prijenosa zvuka je najvažnije. Krivci nisu, kako se obično misli, zidovi i stropovi. Zvuk se prenosi i kroz okna i cijevi. [2]

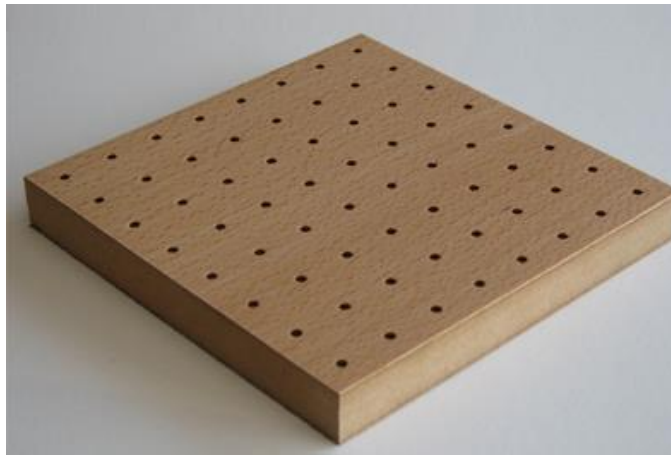
Prije početka izolacijskih radova trebate izvršiti točno mjerenje putova zvuka, u protivnom rezultat će biti razočaravajući. Kod optimalne izolacije mogu se postići poboljšanja i do 10 decibela, što odgovara smanjenju buke i za 50%. [2]

Da bi što bolje smanjili prijenos zvučnih valova iz jedne prostorije u drugu ili iz vana prema unutra, potrebno je izolirati zidove, stropove, podove pa čak i vrata. Prema tome postoje i različiti materijali i njihova svojstva. [5]

### 6.1. Akustični paneli za izoliranje zidova i stropova

Akustične panele možemo opisati kao niz spojenih rezonantnih kutija u koje kroz otvore na vanjskoj površini, ulaze zvučni valovi. Nakon što zvučni valovi uđu u kutije, rasipaju se zbog utjecaja trenja sa zrakom u zračnim tunelima. U slučaju ako nema slobodnog prostora i mineralne vune između panela i podloge, prije spomenuti mehanizam ostaje efikasan u apsorpiranju zvučnih valova srednjeg frekvencijskog područja kao što je npr. govor. Zbog navedenih činjenica možemo zaključiti da akustični paneli imaju izvanredne karakteristike u apsorpciji svih normalnih zvučnih valova, bez obzira na način ugradnje. U odnosu na tonove srednjeg frekvencijskog područja, paneli daju najbolje moguće osobine zvučne apsorpcije, uzevši u obzir vanjsku ravnu površinu. Razlog tome je što svaki mali prorez ili rupa djeluju kao centar refrakcije zvučne energije i na taj način unose dio zvuka mnogo veći nego što je odnos između površine perforacije i ukupne vidljive površine. Postavljanje panela na određeni razmak od zida, u kombinaciji s izolacijskim materijalom između, omogućava panelima apsorpciju tonova visokog frekvencijskog područja. Do tog efekta dolazi zbog toga što zvučni valovi veće i manje valne duljine, jednom kad se nađu u panelu, gube svoju snagu u otvoru, odnosno, u još boljem slučaju mineralnoj vuni. Akustični paneli mogu biti pričvršćeni na strop, na određeni razmak od podloge, na način koji im omogućava vibriranje na niskim frekvencijama; ovim načinom ugradnje postizemo najvišu kvalitetu apsorpcije čak i tonova niske frekvencije. Panele se može koristiti za smanjivanje pozadinske buke, kakva se pojavljuje u uredima, restoranima, koncertnim dvoranama, kinematografima i sl. Prilikom korištenja panela za redukciju

pozadinske buke, panel se može postaviti na sve zidove i strop u prostoriji, tj. što više površina pokrijemo panelima, to bolju zvučnu izolaciju postizemo. [3]



*Slika 6.1.1 - Klasični akustični panel sa rupicama*



*Slika 6.1.2 - Akustični panel( spužva ) izrezbaren sitnim piramidama*

## 6.2. Materijali za izoliranje podova

Buka po podu se prenosi hodanjem, kao i udarom predmeta, povlačenjem stolca, radom kućanskih aparata, dječjom igrom i dr. Bez izolacije ta se buka raznim zvučnim putovima prenosi u susjedne prostorije i percipira kao neugoda. Naše potrebe za mirom i udobnošću i neometanim snom zahtijevaju dostatnu, optimalnu zvučnu izolaciju. Buka se često neovisno o jačini zvuka doživljava kao neugodna. Stoga se isplati jače izolirati nego što to zakonodavac propisuje. Prije svega, za izolaciju mnoštva sitnih šumova koji nas stalno živciraju u svakodnevicu. Izolacija buke od hodanja odnosi se na zvučnu izolaciju stropova i stepenica. Tu za zadovoljavajuću akustičnu kvalitetu treba po mogućnosti težiti izolaciji od 40 dB između stanova te 45 dB unutar stana ili obiteljske kuće. [5]

Udarni zvuk koji nastaje i širi se preko međukatnih konstrukcija eliminiramo izvedbom tzv. *plivajućih podova*, u sklopu kojih postavljamo adekvatan izolacijski materijal od mineralne vune. Mineralna vuna kao zvučna izolacija sprečava prijenos zvuka kroz građevne dijelove. Razlog leži u činjenici što se radi o vlaknastom materijalu. Zvuk je mehaničko titranje valova i kada ti valovi naiđu na međusobno isprepletena vlakna mineralne vune, dolazi do apsorpcije te zvučne energije i pretvaranja iste u drugi oblik – toplinsku energiju. [4]

Zračni zvuk generalno gledajući učinkovito zaustavljamo masivnom konstrukcijom što iziskuje znatna statička opterećenja i kompliciraniju izvedbu. Nasuprot tome, sustavom mala masa – opruga – mala masa postizemo jednak, pa čak i kvalitetniji rezultat po pitanju poboljšanja zvučne izolacijske moći pregrade. Mala masa u ovom slučaju predstavlja završnu oblogu (gipskartonska ploča, lamperija i sl.) dok oprugu predstavlja mineralna vuna. Ta vlaknasta struktura također je izuzetno bitna prilikom sprečavanja prijenosa zvuka u masivnu konstrukciju. Iz tog razloga je poželjno ugraditi elastični materijal s nižom vrijednošću dinamičke krutosti unutar tzv. plivajućeg poda koji bitno umanjuje prijenos nastalog udarnog zvuka u prostore ispod, ali i okolne prostorije. [6]

Zvučna izolacija plivajućih podova mora imati u prvom redu potrebnu dinamičku krutost. To znači vrijednost između 15 i 40 MN/m<sup>3</sup>. Takvi materijali su dovoljno tvrdi da mogu podnositi tlačna opterećenja bez prevelikih slijeganja i nastajanja šteta, a ujedno su dovoljno elastični da djeluju kao „amortizirajući” sloj između estriha i nosive konstrukcije. Mekani i elastični slojevi dobri su izolatori od udarnog zvuka, ali moramo imati na umu mogućnost prevelikog slijeganja i nastajanja šteta. Tvrdi i neelastični materijali osiguravaju potrebnu tlačnu čvrstoću, ali malo ili gotovo nikakvo prigušenje udarnog zvuka. [4]

### 6.3. Materijali za izoliranje vrata

Osim zidova i podova, veliki dio buke se isto tako prenosi preko vrata u susjedne prostorije. Kako bismo još više doprinijeli akustičkoj kvaliteti prostorije stavljamo zvučnu izolaciju na vrata. Materijal od kojeg su izrađena vrata nije toliko bitan koliko je bitna sama izolacija. Najoptimalnije rješenje nalazimo u kamenoj vuni i to onoj koja je lamelirana odnosno postavljena u više paralelnih slojeva da bi se dobilo na masi jer će masa vune bitno utjecati na apsorpciju zvuka. Vuna se lijepi na vrata pa se preko nje pribadačama pribija sky ili koža u vidu estetike. Da bi pokrili razmake između vrata i dovratnika stavljamo gumene brtve koje su pogodne za te svrhe jer znamo da je guma isto tako jedan od dobrih zvučnih izolatora. Spriječavanjem prodora buke kroz vrata uvelike smo poboljšali uvjete rada i u toj prostoriji, ali i izvan nje. Takva vrsta izolacije se koristi u prostorijama koje zahtjevaju visoku akustičku kvalitetu zbog nesmetanog odvijanja radnog procesa ( bolnice, operacijske sale, predavaonice ). U nekim se slučajevima traži gotovo apsolutna tišina u prostorije kod npr. snimanja glazbe u glazbenom studiju ili snimanja radijskih emisija u radijskim studijima i dr. [2]

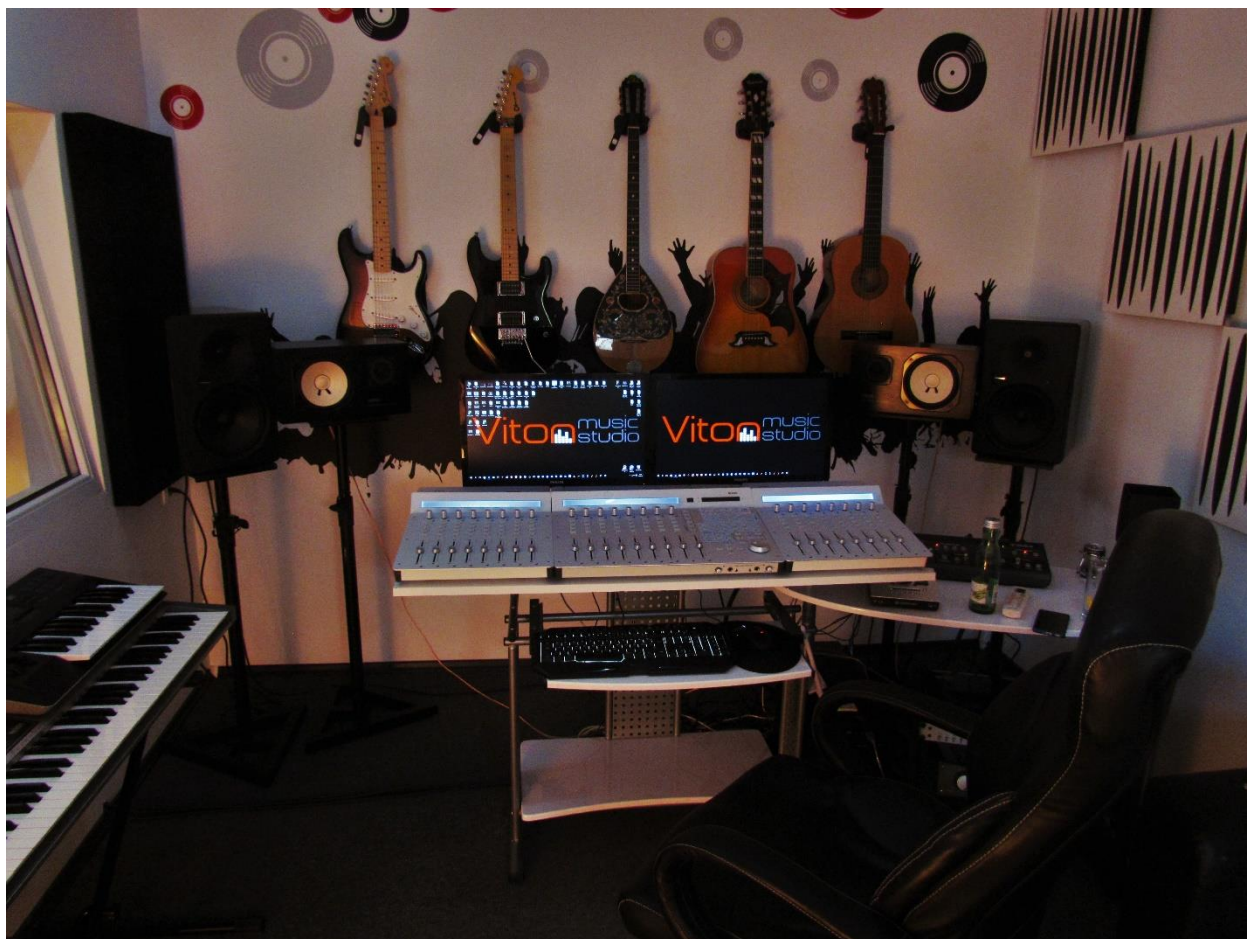
Na slici 6.3.1. je prikazan presjek izoliranih vrata drvene građe. Isto tako bi nanosili izolaciju odnosno slojeve izolacije na bilo kakav drugi materijal.



Slika 6.3.1. Prikaz slojeva zvučno izoliranih vrata

## 7. Zvučna izolacija glazbenog studija ( Viton music studio )

Kada je riječ o akustici i zvučno izolacijskim svojstima , najveći kriteriji i uvjeti moraju biti zadovoljeni u glazbenim studijima. Glazbeni studiji su upravo ti koji moraju spriječiti svako odbijanje zvuka odnosno eho i reverberaciju da bi se zvuk snimanjem što kvalitetnije prenio u digitalni zapis. Da bi iz prve ruke saznao kako to zaista funkcionira u glazbenom studiju informacije sam zatražio od producenta glazbenog studija Viton. Za ovaj studio sam se odlučio iz razloga što ima vrhunske akustične sisteme kao i opremu koju koristi za snimanje zvuka. Doznao sam štošta o tim sistema postavljanja izolacije u studiju odnosno gluhoj sobi te režiji. [7]



*Slika7.1. Oprema glazbenog studija „Viton“*



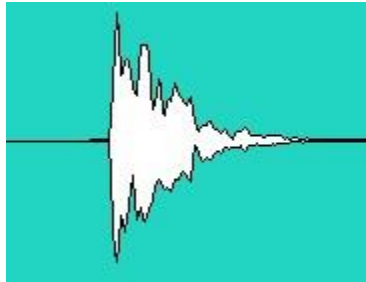
## 7.1. Akustika u gluhoj sobi

Ključ dobrog glazbenog studija leži upravo u gluhoj sobi. Treba biti vrhunski izolirana jer se u njoj snimaju zvučni valovi koji se onda pretvaraju u digitalni zapis. Svaki studio teži tome da čim bolje i jasnije snimi zvuk odnosno pjesmu, a to se ne može postići bez dobro izolirane gluhe sobe. Sistemi za izoliranje su već dovoljno jasni i poznati. Cilj je spriječiti odjek odnosno reverberaciju kako niskih tako i visokih frekvencija. Kao što smo već doznali zvučni valovi se zvlače i odbijaju u različite konstrukcijske segmente. Tako se zvlače i u kutove prostorija, a da bi to spriječili kut od  $90^\circ$  ćemo „zaobliti“ akustičkim materijalima odnosno „bass trapovima“ koji razbijaju niske frekvencije odnosno spriječavaju njihovo uvlačenje u kut i ponovno odbijanje. Tako smo riješili problem kuteva. Sada bismo trebali riješiti problem ravnih i glatkih površina na način da razbijemo tu monotonost, a najbolje rješenje proizlazi postavljanjem apsorbera odnosno akustičkih panela (spužvi) sa slike 6.1.2. koji će te razbijene frekvencije upiti u sebe i ne slati ih na daljne elemente. Stropove pak možemo riješiti postavljanjem akustičkih panela sa slike 6.1.1. [7]

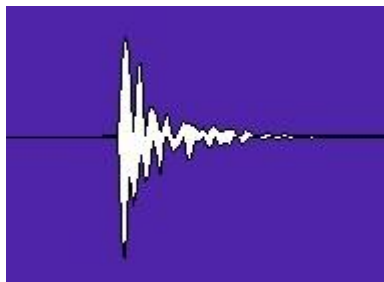


*Slika 7.1.1. Gluha soba glazbenog studija „Viton“*

Da bi uistinu dokazali važnost zvučne izolacije u gluhoj sobi morali smo snimiti nekakav zvuk u prostoriji bez zvučne izolacije, a zatim taj isti zvuk u gluhoj sobi. Za to smo koristili isti mikrofonski signal, a kao zvučni signal smo uzeli bass bubanj. Na slici 7.1.1. vidimo digitalni zapis zvučnog vala bass bubnja u prostoriji koja nije akustički tretirana, dok na slici 7.1.2. vidimo taj isti zvučni signal u gluhoj sobi. [7]



*Slika 7.1.1. Zvučni val bass bubnja u akustički netretiranoj prostoriji*



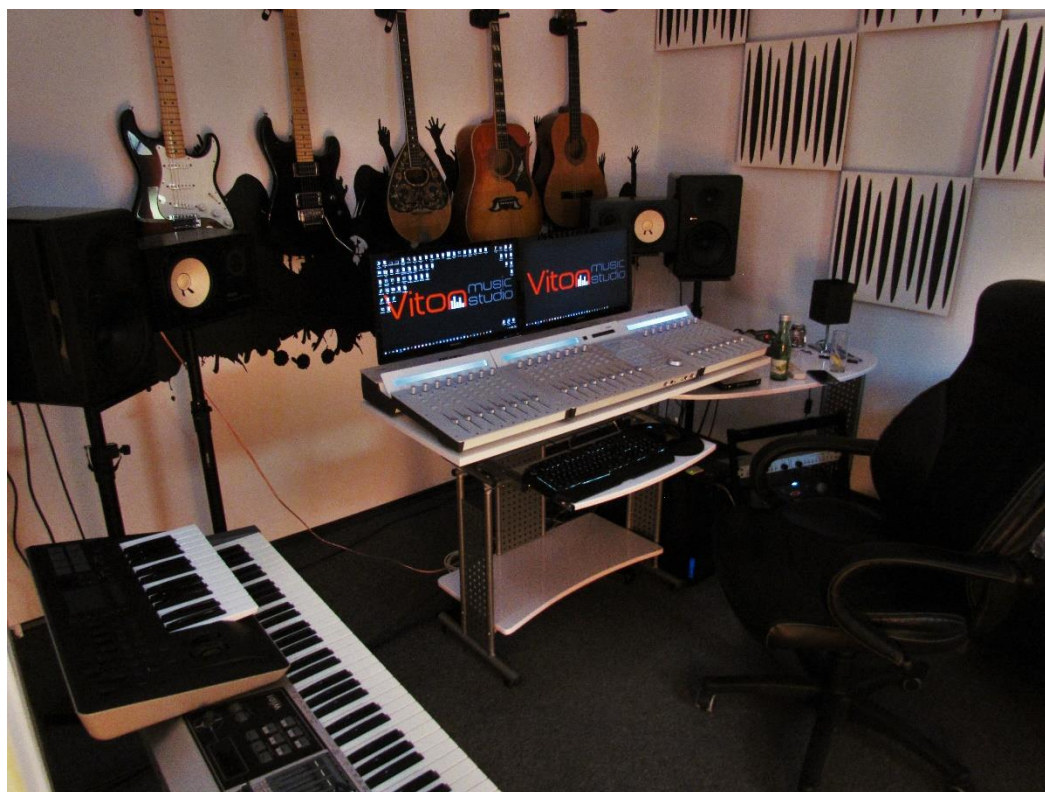
*Slika 7.1.2. Zvučni val bass bubnja u akustički tretiranoj prostoriji*

## 7.2. Akustika u kontrolnoj sobi ( režiji )

Kada zvuk snimimo u gluhoj sobi on se direktno prenosi u digitalni zapis u kontrolnu sobu. Zvuk smo snimili preko mikrofona, pa preko sučelja ( audio interface ) sve do računala pa snimak tako završava u kontrolnoj sobi. Tamo ćemo snimljeni zvuk dotjerati na računalu raznim software-ima. Uvijek je potrebno barem malo dotjerati zvuk da bude još čišći i konkretniji te da ga je ugodnije kasnije slušati. Zvuk dotjerujemo i slušamo ga preko studijskih monitora. No, ako doista želimo čuti zvuk kakav proizlazi iz tih monitora ne možemo izostaviti kvalitetnu akustiku prostorije odnosno režije. Bez dobre akustike nema ni dobrog ni kvalitetnog zvuka. Stoga nam je od potrebite važnosti akustika i u toj prostoriji da bi što kvalitetnije i jasnije čuli prethodno snimljen zvuk. [7]

Kada govorimo o akustičnim sistema te prostorije opet je poprilično jasno kako se oni moraju izvesti. Pošto su monitori izravno okrenuti prema slušatelju ( producentu ), zvučni val će se odbiti od zida iza nas i nastat će vrlo neugodna buka. Postavljanjem difuzora na zid iza nas koji će razbiti zvučni val i raspršiti ga dalje do apsorbera koji se nalaze okolo prostorije riješili smo problem buke. Kuteve ćemo opet izolirati bass trapovima da izbjegnemo zavlčenje zvuka u kuteve. [7]

Na slici 7.2.1. prikazana je kontrolna soba i akustični sistemi u njoj te su navedeni elementi koji su korišteni da bi se postigao jedan kvalitetan akustični sistem.



*Slika 7.2.1. Kontrolna soba glazbenog studija „Viton“*

## 8. Zaključak

Danas se sve više susrećemo sa raznim oblicima buke ponajviše zbog naglog razvoja tehnologije i industrije. Buku tretiramo kao neželjeni zvuk koje ljudsko uho treba slušati, a pritom se još i koncentrirati na posao i sl. Sve veći razvoj tehnologije dovest će nas do ruba te ugroziti čovječanstvo. Puno aktivnosti i procesa ovisi o našem radu te produktivnosti, ali kako biti uvijek uspješan u tome ako skoro 24 sata dnevno trpimo neki oblik buke? Više ni naši domovi nisu mirna utočišta kakva očekujemo. Ti problemi doveli su svijet na razmišljanje pa su ubrzo donešeni zakoni o smanjenju razinu buke odnosno njezinom reguliranju. Istotako su donešeni i izumljeni neki novi izolacijski materijali koji bi uvelike spriječili buku koja prenosi zrakom te kao takva dolazi do naših ušiju pa bi tako stvorili ugodniji i kvalitetniji život. Međutim, ti izolacijski materijali odnosno njihova izvedba nije bitno promjenila način življenja u pogledu buke, a sve to zbog nekvalitetnog postavljanjatih istih akustičkih sistema. Smatram da se na tome treba još puno raditi kako bi čovjek danas sutra nesmetano mogao obavljati određene aktivnosti. Razvoj tehnologije, kako stvari stoje, neće stati, stoga ne smije stati ni razvoj akustičkih sistema i procesa. Moramo osigurati svakome čovjeku da ima barem miran dom, gdje možemo odmoriti i razbistriti glavu jer nas već sutra čekaju novi problemi i nove zadaće. Proizvodnju i razvoj akustičkih sistema treba „pogurati“ prije nego buka do kraja uništi našu kvalitetu života.

## 9. Reference

- [1] Koški Ž., Perak M., Poboľšpanje akustike prostorija apsorpcijskim materijalima i elementima, 2010., Broj 1., Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet Osijek., stranice 101-114
- [2] Vlastita izrada prema - [https://hr.wikipedia.org/wiki/Zvučna\\_izolacija](https://hr.wikipedia.org/wiki/Zvučna_izolacija)
- [3] Vlastita izrada prema - <http://www.gradimo.hr/zvucna-izolacija>
- [4] Vlastitai izrada prema - <http://isover.hr/prednosti-i-svojstva/zvučna-izolacija/izolacija-buke-od-hodanja>
- [5] Vlastita izrada prema - <http://isover.hr/prednosti-i-svojstva/zvučna-izolacija/izolacija-zvuka-koji-se-prenosi-zrakom>
- [6] Vlastita izrada prema - <http://isover.hr/prednosti-i-svojstva/zvučna-izolacija>
- [7] Vlastita izrada prema Kovačić L. „Glazebni studio Viton“

## 10. Popis slika i tablica

*Slika 3.1.1. Smanjenje razine zvuka povećanjem udaljenosti od izvora, Koški Ž., Perak M., 2010.*

*Slika 3.2.1. Širenje zvučnih valova u zatvorenom prostoru, Koški Ž., Perak M., 2010.*

*Slika 3.2.2. Refleksija zvuka od glatke površine građevinskog elementa, Koški Ž., Perak M., 2010*

*Slika 3.2.3. Refleksija zvuka od difuzne površine građevinskog elementa, Koški Ž., Perak M., 2010.*

*Slika 4.1.2. Najmanji volumen prostorija ovisno o broju osoba za različite vrste glazbe, Koški Ž., Perak M., 2010.*

*Slika 4.2.1. Neispravno smještanje izvora zvuka, Koški Ž., Perak M., 2010.*

*Slika 4.2.2. Ispravno smještanje izvora zvuka, Koški Ž., Perak M., 2010.*

*Slika 4.2.3. Za auditorije vrlo je povoljan lepezast tlocrt dvorane, Koški Ž., Perak M., 2010.*

*Slika 4.3.1. Grafički prikaz određivanja vremena reverberacije, Koški Ž., Perak M., 2010.*

*Slika 5.1. Raspodjela energije zvučnog vala, Koški Ž., Perak M., 2010.*

*Slika 5.1.1. Apsorpcija zvuka u debelom poroznom sloju poroznog apsorbera, Koški Ž., Perak M., 2010.*

*Slika 5.1.2. Apsorpcija zvuka u tankom sloju, Koški Ž., Perak M., 2010.*

*Slika 5.1.3. Akustik-ploče: lijevo s okruglim rupama, desno s urezanim brazdama, Koški Ž., Perak M., 2010.*

*Slika 5.2.1. Primjer konstrukcije membranskog apsorbera i nekoliko načina titranja ploče, Koški Ž., Perak M., 2010.*

*Slika 5.3.1. Akustički rezonator i analogni mehanički rezonator, Koški Ž., Perak M., 2010.*

*Slika 5.3.2. Presjek panelnog akustičnog rezonatora, Koški Ž., Perak M., 2010.*

*Slika 6.1.1 - Klasični akustični panel sa rupicama, <http://www.decibel.si/prostorska-akustika/produkti>*

*Slika 6.1.2 - Akustični panel( spužva ) izrezbaren sitnim piramidama, <https://www.lastra.si/akusticna-izolacija/akusticna-pena-the-takustik-sa-p80-2468>*

*Slika 6.3.1. Prikaz slojeva zvučno izoliranih vrata, vlastita izrada*

*Slika7.1. Oprema glazbenog studija „Viton“, Kovačić L., „Glazbeni studio Viton“*

*Slika 7.1.1. Gluha soba glazbenog studija „Viton“, Kovačić L., „Glazbeni studio Viton“*

*Slika 7.1.1. Zvučni val bass bubnja u akustički netretiranoj prostoriji, vlastita izrada u studiu „Viton“*

*Slika 7.1.2. Zvučni val bass bubnja u akustički tretiranoj prostoriji, vlastita izrada u studiu „Viton“*

*Slika 7.2.1. Kontrolna soba glazbenog studija „Viton“, Kovačić L., „Glazbeni studio Viton“*

*Tablica 4.1.1. - Orijentacijske vrijednosti volumena za neke izvore zvuka, Koški Ž., Perak M., 2010.*

**IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU**

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, ALEN DEBELJAK (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom PROJEKTIRANJE AUSTIČKIH SVOJSTAVA PROSTORA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

AL  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, ALEN DEBELJAK (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom PROJEKTIRANJE AUSTIČKIH SVOJSTAVA PROSTORA (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

AL  
(vlastoručni potpis)