

# Induciranje magnetskog polja - Zvuk bez dodira

---

**Jakupi, Denis**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:559881>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-07**



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)





# Sveučilište Sjever

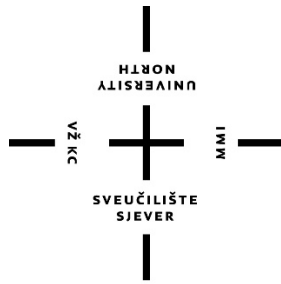
Diplomski rad br. 70/MEDD/2024

## Induciranje magnetskog polja - Zvuk bez dodira

Denis Jakupi, 0336036593

Koprivnica, rujan 2024. godine





# Sveučilište Sjever

Odjel za Medijski dizajn

Diplomski rad br. 70/MEDD/2024

## Induciranje magnetskog polja - Zvuk bez dodira

### Student

Denis Jakupi, 0336036593

### Mentor

Andro Giunio, doc.art.

Koprivnica, rujan 2024. godine

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za umjetničke studije		
STUDIJ	diplomski studij Medijski dizajn		
PRISTUPNIK	Denis Jakupi	MATIČNI BROJ	3623/336
DATUM	7.9.2024.	KOLEGIJ	Audio produkcija
NASLOV RADA	Induciranje magnetskog polja – Zvuk bez dodira		

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Induction of a magnetic field – Sound without physical contact

MENTOR	mag. diz. Andro Giunio	ZVANJE	doc. art.
--------	------------------------	--------	-----------

ČLANOVI POVJERENSTVA	1.	doc. art. Niko Mihaljević, predsjednik
	2.	doc. art. Igor Kuduz, član
	3.	doc. art. Andro Giunio, član
	4.	doc. art. Luka Borčić, zamjenski član
	5.	

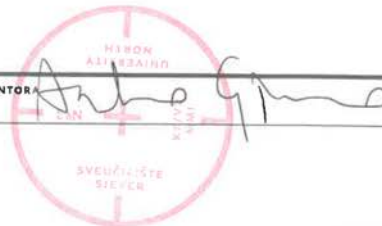
## Zadatak diplomskog rada

BROJ	70/MEDD/2024
------	--------------

OPIS  
Tema ovog diplomskog rada je stvaranje zvuka induciranjem magnetskog polja te izvedba rada u obliku zvučne instalacije. Rad se bavi istraživanjem čistog sinusnog zvuka i njegovim utjecajem na slušatelje. Cilj rada je proizvesti zvuk od predmeta bez fizičkog dodira i osvijestiti zvuk oko nas u najširem smislu; zvuk postoji u svakom pulsu energije koji prolazi kroz prostor.

- U radu je potrebno:
- Objasniti i definirati pojmove zvuka i magnetskog polja
  - Objasniti primjenu zvučnih vilica u povijesti
  - Izraditi zvučnu kompoziciju
  - Oblikovati zvučnu izvedbu
  - Prezentirati svoj rad

ZADATAK URUČEN	13.9.2024	POTPIS MENTORA	
----------------	-----------	----------------	--



## Sažetak

Diplomski rad obuhvaća zvučnu instalaciju koja istražuje zvuk generiran iz fizičkog predmeta bez izravnog fizičkog kontakta. Zvuk se stvara primjenom elektromagnetskog polja – zavojnica je omotana oko predmeta kroz koji prolazi električna struja, čime se inducira magnetsko polje. Ovo magnetsko polje pokreće vilicu pričvršćenu za drvenu ili metalnu kutiju, koja zatim rezonira i proizvodi zvuk.

Teza ovog rada fokusira se na osvještavanje prisutnosti zvuka u našem okruženju. Zvuk je sveprisutan i pokreće sve oko nas; bez njega ne bi bilo pokreta, ni života kakvog poznajemo. U radu se također razmatra ključna uloga zvuka u ljudskom iskustvu, njegov utjecaj na živa bića te način na koji oblikuje našu percepciju svijeta. Zvuk je prisutan u svakom vibrirajućem atomu, u svakom pulsu energije koji prolazi kroz prostor, tvoreći kontinuirani, sveprožimajući element našeg postojanja.

Ključne riječi: zvuk, magnetsko polje, eksperimentalni zvuk, audio produkcija, zvučna instalacija

## **Abstract**

This thesis involves a sound installation that explores sound generated from a physical object without direct physical contact. The sound is created by applying an electromagnetic field—a coil is wrapped around the object through which an electric current flows, inducing a magnetic field. This magnetic field activates a tuning fork attached to a wooden box, which then resonates and produces sound.

The thesis focuses on raising awareness of the presence of sound in our surroundings. Sound is omnipresent and drives everything around us; without it, there would be no movement or life as we know it. The thesis also examines the critical role of sound in human experience, its impact on living beings, and how it shapes our perception of the world. Sound is present in every vibrating atom, in every pulse of energy that moves through space, forming a continuous, all-encompassing element of our existence.

Keywords: sound, magnetic field, experimental sound, audio production, sound installation

## Sadržaj

1.	Zvuk i frekvencija .....	16
1.1.	Infrazvuk.....	17
1.2.	Čujni zvuk.....	18
1.3.	Ultrazvuk .....	19
2.	Zvučne vilice.....	20
2.1.	Povijest zvučnih vilica.....	21
2.2.	Princip rada.....	21
2.3.	Primjena zvučnih vilica u glazbi .....	22
2.4.	Primjena u znanosti i medicini .....	22
2.5.	Znanstvena istraživanja i eksperimenti.....	23
2.6.	Fizički principi rezonancije .....	23
2.7.	Rezoniranje na drvu.....	24
2.8.	Rezoniranje na metalima .....	24
2.9.	Rezoniranje na staklu.....	25
2.10.	Rezoniranje na vodi .....	25
3.	Zvuk kao lijek .....	26
3.1.	Povijest Liječenja Zvukom .....	26
3.2.	Vilice kod ispitivanja sluha .....	28
3.3.	Primjena rezonatora u glazbi i znanosti.....	29
4.	Vizualizacija zvuka .....	30
4.1.	Cymatics – Umjetnička i znanstvena disciplina vizualizacije zvuka .....	31
4.2.	Primjena vizualizacije zvuka u suvremenoj umjetnosti .....	32
4.3.	Znanstvene tehnike vizualizacije zvuka .....	34
4.4.	Vizualizacija zvuka kroz prirodne fenomene .....	35
5.	Eksperimentalni zvuk u umjetnosti.....	36
6.	Poznati umjetnici i dizajneri zvuka.....	38
7.	Frekvencije u svakodnevnom životu .....	40
8.	Zvučne instalacije i arhitektura .....	41
8.1.	Zvučne skulpture kao integralni dio arhitekture.....	41
8.2.	Arhitektura i akustika .....	43
8.3.	Interaktivne zvučne instalacije u javnim prostorima .....	44
8.4.	Akustika i dizajn u suvremenoj arhitekturi.....	46
9.	Zvučna instalacija .....	47
9.1.	Prostor.....	48
9.2.	Dobivanje zvuka - proces .....	49
10.	Izvedba zvučne kompozicije .....	60
11.	Zaključak.....	61
	Literatura.....	63



## Uvod

Zvukovi našeg svakodnevnog života često prolaze nezamijećeno, no njegova važnost u oblikovanju naše stvarnosti ne može se zanemariti. Svijet oko nas prepun je zvukova – od tihih, jedva čujnih vibracija do glasnih, intenzivnih zvučnih impulsa koji oblikuju našu percepciju i emocionalno stanje. Zvučni fenomeni nisu samo rezultat direktne interakcije s fizičkim svijetom, već mogu biti inducirani i kroz apstraktne, nevidljive sile poput elektromagnetizma.

Ovaj seminar bavi se opisom zvučne instalacije, koja ispituje mogućnost stvaranja zvuka bez izravnog fizičkog kontakta. Konkretno, radi se o četiri čiste frekvencije koje koriste vilice kao medij za generiranje zvuka. Kroz ovaj proces, zavojnica, omotana oko predmeta, prenosi električnu struju koja stvara magnetsko polje. To polje aktivira vilicu pričvršćenu na drvenu kutiju, koja potom rezonira i proizvodi zvuk.

Teza ovog rada temelji se na osvještavanju prisutnosti zvuka u našem svakodnevnom okruženju. Zvuk nije samo neizbježna komponenta života, već i ključna sila koja pokreće sve oko nas. Bez zvuka, ne bi bilo ni pokreta, ni života kakvog poznajemo. Ovaj rad također istražuje kako zvuk utječe na ljudsku percepciju i iskustvo, oblikujući našu svijest o okolini. Zvuk je prisutan u svakom vibrirajućem atomu, u svakom pulsus energije koji prolazi kroz prostor, te kao takav, predstavlja kontinuirani, sveprožimajući element našeg postojanja. Kroz analizu zvučne instalacije i teorijskih aspekata koji je okružuju, seminar nastoji osvjestiti nevidljive sile koje nas okružuju i kako te sile, kroz zvuk, kreiraju svijet u kojem živimo.

# 1. Zvuk i frekvencija

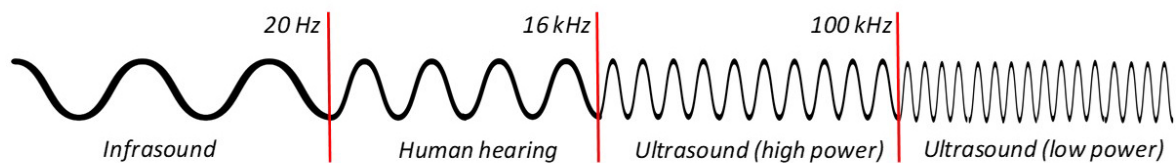
Zvuk je oblik mehaničkih vibracija koje ljudsko uho može percipirati. Frekvencija tih vibracija, odnosno broj titraja u jednoj sekundi, mjeri se u hertzima (Hz). Ljudsko uho može čuti frekvencije u rasponu od 16 Hz do 20.000 Hz. Zvukovi ispod 16 Hz nazivaju se infrazvukom, dok se oni iznad 20.000 Hz nazivaju ultrazvukom. [1]

Frekvenciju možemo prikazati pomoću oscilograma, dijagrama koji prikazuje tijek titraja kroz vrijeme. Na osi x oscilograma prikazano je vrijeme u sekundama, dok se na osi y nalazi amplituda zvuka izražena u decibelima. Zvukovi mogu biti čisti ili složeni tonovi. Čisti tonovi imaju jednostavnu sinusoidnu oscilaciju i rijetko se nalaze u prirodi; obično su umjetno proizvedeni. S druge strane, složeni tonovi imaju nesinusoidni oscilogram.



*Slika 1: Osciloskop - elektronski mjerni uređaj koji omogućava promatranje međusobne ovisnosti dva signala na fluorescentnom zaslonu katodne cijevi, pristupljeno 8.9.2024.*

Titraji zvuka mogu biti periodični, s jednakim vremenskim razmacima između titraja, ili aperiodični, gdje su ti razmaci nejednaki i nepredvidljivi. Uz oscilogram, zvuk se može analizirati i pomoću spektrograma, koji prikazuje frekvencijski sastav zvuka kroz vrijeme. Na spektrogramu se može razlikovati harmoničan i šuman spektralni sastav. Harmonični sastavi imaju periodične titraje s ograničenim frekvencijama, dok šumovi imaju aperiodične titraje koji su kontinuirani i neograničeni. Za razliku od oscilograma, na spektrogramu se na osi y prikazuje frekvencija u Hz, dok je na osi x vrijeme u sekundama. Spektrogram jasno razlikuje različite vrste zvuka, primjerice šum se može prikazati zelenom bojom, a harmoničan zvuk žutom. [2]



Slika 2: Prikaz zvučnih valova različitih frekvencija, pristupljeno 8.9.2024.

## 1.1. Infrazvuk

Infrazvuk, odnosno zvučni valovi s frekvencijom manjom od 16 Hz, nečujan je za ljudsko uho zbog svoje niske frekvencije, ali posjeduje izvanrednu sposobnost širenja na velike udaljenosti i prolaska kroz prepreke poput zgrada, planina i drugih prepreka. Zbog dugih valnih duljina, infrazvuk se koristi u znanstvenim i industrijskim primjenama, najčešće u seizmologiji za praćenje aktivnosti Zemljine kore, te za identifikaciju vulkanskih erupcija i grmljavinskih oluja. Prirodni izvori infrazvuka uključuju seizmičke aktivnosti poput potresa, vulkanskih erupcija, oceanografskih fenomena, kao i životinje poput slonova i kitova koje koriste infrazvuk za međusobnu komunikaciju na velikim udaljenostima. Zbog sposobnosti putovanja kroz različite medije bez značajnog gubitka energije, infrazvuk je ključan alat u proučavanju prirodnih fenomena. Infrazvuk također ima značajan utjecaj na biologiju i ponašanje, a istraživanja u području bioakustike usmjerena su na njegovo korištenje i utjecaj na zdravlje. Iako infrazvuk ne možemo izravno čuti, dugotrajna izloženost niskim frekvencijama može izazvati fizičke simptome poput vrtoglavice, mučnine ili nelagode. Istraživanja još uvijek ne pružaju jasne zaključke o dugoročnim zdravstvenim učincima infrazvuka na ljude, no poznato je da može izazvati određene fiziološke reakcije kod osjetljivih pojedinaca. Nadalje, infrazvuk može biti i umjetno proizveden u industrijske svrhe, primjerice za analizu struktura, gdje se koristi za otkrivanje anomalija u materijalima. Njegova široka primjena ukazuje na važnost razumijevanja ovog fenomena, ne samo u prirodnom već i u umjetnom okruženju. [3] [4]

## 1.2. Čujni zvuk

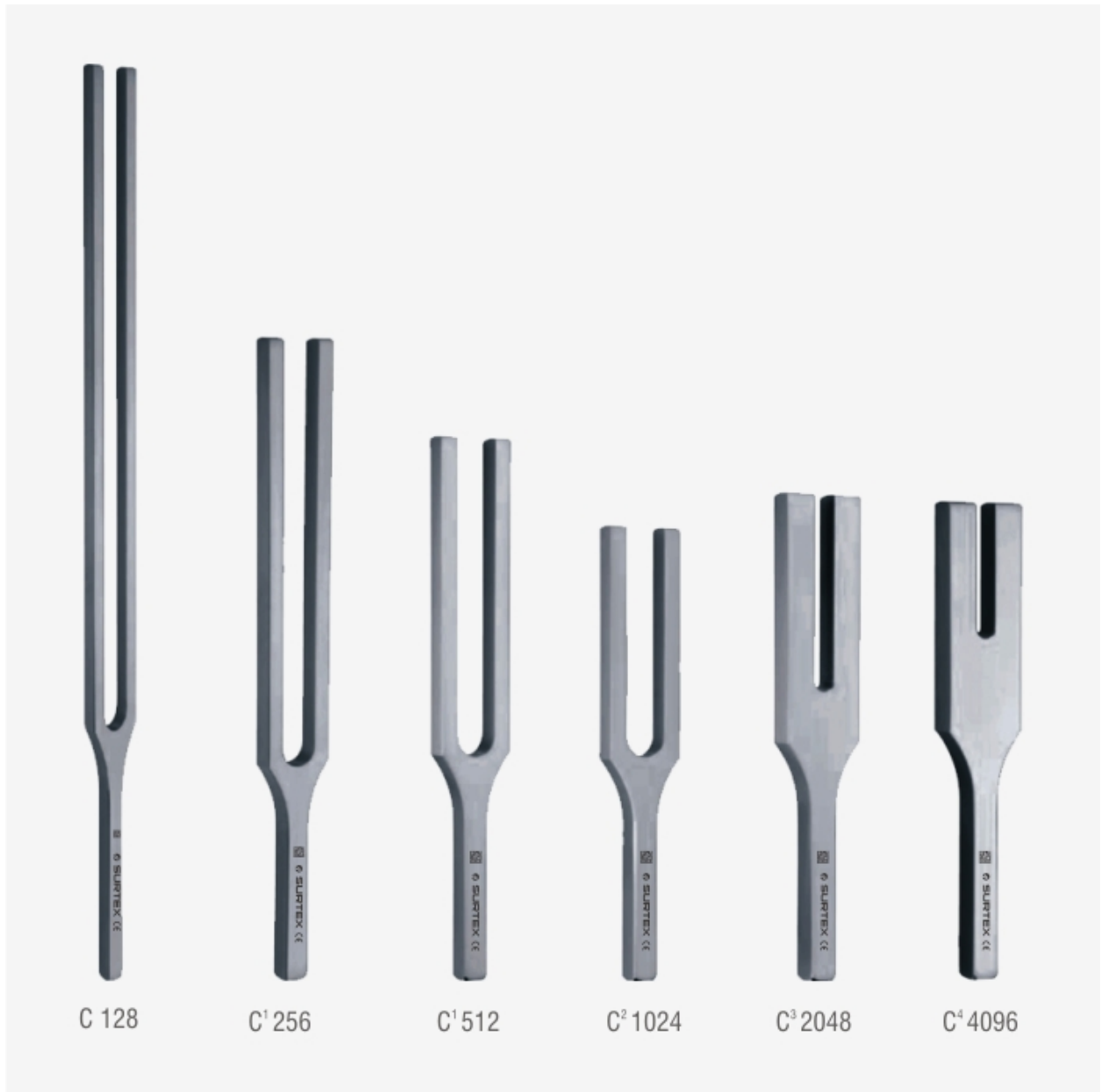
Čujni zvuk, koji obuhvaća frekvencije između 20 Hz i 20 kHz, predstavlja spektar koji ljudsko uho može registrirati, te stoga izravno utječe na naš svakodnevni život. Sve što čujemo – bilo da se radi o govoru, glazbi, ili zvucima prirode – nalazi se unutar ovog raspona. Ljudski glasovi imaju specifične frekvencijske karakteristike; muški glasovi obično obuhvaćaju raspon od 85 Hz do 255 Hz, dok su ženski glasovi nešto viši, krećući se od 165 Hz do 255 Hz. Glazba, s druge strane, pokriva znatno širi spektar frekvencija, od dubokih tonova do visokih nota, a zvukovi iz prirode, poput vjetra ili ptičjeg cvrkuta, također se nalaze unutar čujnog spektra. Proučavanje zvuka, ili akustika, istražuje kako se zvučni valovi ponašaju u različitim okruženjima. Akustika prostora, primjerice, analizira kako se zvuk odbija od zidova, stropova i objekata, što je ključno u dizajniranju prostora poput koncertnih dvorana, kazališta ili studija. Akustika instrumenata fokusira se na to kako različiti materijali i konstrukcije proizvode i moduliraju zvuk. Inženjeri zvuka primjenjuju ove principe kako bi stvorili optimalne uvjete za prijenos zvuka, bilo kroz zvučne sustave ili akustičke prostore. Primjerice, dvorane se dizajniraju s ciljem postizanja najbolje moguće percepcije zvuka kod slušatelja. Zvuk također ima značajan psihološki utjecaj na ljude. Glazba može izazvati širok spektar emocionalnih reakcija, od veselja i uzbuđenja do tuge i smirenosti. S druge strane, buka, osobito ona kontinuirana ili neugodna, može izazvati nelagodu, pa čak i stres. Na ovaj način, zvuk nije samo fizički fenomen, već i ključan element u komunikaciji i emocionalnoj interakciji. [5] [3]

### 1.3. Ultrazvuk

Ultrazvuk se odnosi na zvučne valove čija je frekvencija viša od 20 kHz, što prelazi granicu ljudske čujnosti. Ova vrsta zvuka ima izuzetno široku primjenu u različitim industrijama i medicinskim disciplinama zbog svojih specifičnih svojstava, uključujući visoku energiju i kratku valnu duljinu, što omogućuje njegov prodor kroz različite materijale i refleksiju od unutarnjih struktura. U medicini, ultrazvuk se najčešće koristi za dijagnostičke svrhe, gdje visokofrekventni valovi stvaraju slike unutarnjih organa i tkiva. Ova tehnika se posebno koristi u ginekologiji za praćenje razvoja fetusa, kao i u terapijske svrhe, poput razbijanja bubrežnih kamenaca ili stimulacije zacjeljivanja tkiva. Osim toga, ultrazvuk je važan alat za industrijska ispitivanja – koristi se za otkrivanje pukotina ili nepravilnosti u materijalima i za ultrazvučno čišćenje osjetljivih objekata uz pomoć visokofrekventnih vibracija. Na području znanosti, ultrazvuk ima ključnu ulogu u istraživanju ponašanja životinja. Primjerice, šišmiši koriste ultrazvuk za navigaciju i lov koristeći eholokaciju, pri čemu emitiraju ultrazvučne valove i obrađuju njihovu refleksiju kako bi stvorili sliku svoje okoline. Ove primjene ultrazvuka ilustriraju koliko različite frekvencije mogu imati praktičnu važnost – od medicinskih dijagnostika i terapija do industrijskih ispitivanja i bioloških istraživanja. [4] [1]

## 2. Zvučne vilice

Zvučne vilice, ili tuning forks, osnovni su alat u akustici i muzici, a također nalaze primjenu u znanosti i medicini. Njihova sposobnost stvaranja čistog tona pri vibraciji čini ih korisnim u kalibraciji instrumenata, terapijama zvukom, kao i u obrazovnim i istraživačkim kontekstima. Kroz ovaj seminar detaljno ćemo istražiti povijest, principe rada te primjenu zvučnih vilica u različitim poljima. [6]



Slika 3: Tuning fork - Zvučna vilica, pristupljeno 8.9.2024.

## 2.1. Povijest zvučnih vilica

Zvučne vilice izumio je 1711. godine engleski trubač i luthier John Shore, koji je služio na dvoru kraljice Anne i kralja Georgea I. Shore je stvorio prvi prototip vilice koja je emitirala čisti ton A (oko 440 Hz), što je kasnije postalo standardni referentni ton za ugađanje instrumenata. Njegov izum ubrzo je privukao pažnju znanstvenika i glazbenika zbog svoje preciznosti i jednostavnosti. Zvučne vilice našle su široku primjenu u klasičnoj glazbi 18. i 19. stoljeća, gdje su se koristile za ugađanje instrumenata, posebno klavira i gudačkih instrumenata. Zbog sposobnosti da emitiraju stabilan ton bez harmonika, vilice su bile idealne za postavljanje standarda u glazbenoj intonaciji. Tijekom 19. stoljeća znanstvenici poput Ernsta Chladnija i Hermanna von Helmholtza koristili su zvučne vilice u akustičkim eksperimentima, čime su pridonijeli razvoju fizike zvuka i njegovog razumijevanja. [7]

## 2.2. Princip rada

Zvučna vilica sastoji se od dva metalna kraka spojena na jednom kraju drškom. Kada se udari o tvrdu površinu, kraci vilice počinju vibrirati, stvarajući stalnu i sinusoidalnu frekvenciju. Ovaj specifični oblik i materijal omogućuju vilici da stvara čisti ton, što je čini posebno pogodnom za znanstvene i glazbene svrhe.

Frekvencija zvuka koju vilica proizvodi ovisi o njenoj veličini, obliku i materijalu od kojeg je napravljena. Vilice manjih dimenzija stvaraju više frekvencije, dok veće vilice stvaraju dublje tonove. Najčešći materijali koji se koriste za izradu vilica su čelik, aluminij i razni legirani metali zbog njihove sposobnosti da zadrže dugotrajne vibracije.

Vibracija vilice prenosi se na zrak, stvarajući zvučne valove. Ovisno o frekvenciji, ti valovi mogu biti čujni ljudskom uhu. Zvučne vilice često proizvode tonove unutar čujnog raspona, najčešće između 100 i 1.000 Hz. [7]

### **2.3. Primjena zvučnih vilica u glazbi**

U glazbi, zvučne vilice se koriste prvenstveno za ugađanje instrumenata. Njihova uloga u tome je ključna jer emitiraju konstantan ton koji se koristi kao referenca za druge instrumente. Standardna frekvencija A4 (440 Hz) služi kao međunarodni standard za ugađanje instrumenata, a zvučne vilice su povijesno korištene za kalibraciju ovog tona.

Pored ugađanja, vilice su korištene i u obrazovnim kontekstima. U glazbenim školama i akademijama često se koriste kao alat za treniranje sluha, gdje studenti uče prepoznati frekvenciju ili interval između nota. Osim toga, glazbeni skladatelji i izvođači, posebice u klasičnoj glazbi, koristili su vilice kako bi osigurali preciznost tona prije izvedbi. [7] [8]

### **2.4. Primjena u znanosti i medicini**

Osim u glazbi, zvučne vilice našle su primjenu i u znanstvenim istraživanjima, posebno u polju akustike i fizike zvuka. Njemački znanstvenik Ernst Chladni, koji je istraživao odnose između vibracija i zvuka, koristio je zvučne vilice u svojim eksperimentima. Njegov rad postavio je temelje za razumijevanje prirode valova i njihovih uzoraka, a vilice su bile savršeno sredstvo za postizanje preciznih frekvencija u tim istraživanjima.

U medicini, zvučne vilice se koriste za dijagnostičke svrhe. Jedna od najpoznatijih primjena je Rinneov i Weberov test, koji se koristi u otorinolaringologiji za procjenu sluha. Korištenje vilice omogućuje liječnicima da odrede razinu provođenja zvuka kroz kosti i zrak, čime se može dijagnosticirati gubitak sluha ili oštećenje unutarnjeg uha.

Terapija zvukom još je jedno područje u kojem su zvučne vilice našle svoju primjenu. Terapijske tehnike koriste vibracije zvuka vilica kako bi se potaknuo osjećaj opuštanja, smanjio stres i poboljšalo cjelokupno zdravlje. Smatra se da vibracije koje stvaraju vilice mogu djelovati na energetske centre tijela, pomažući u ravnoteži i liječenju emocionalnih i fizičkih problema. Primjena zvučnih vilica u terapijama oslanja se na drevne tehnike liječenja vibracijama, ali moderni terapeuti često kombiniraju ove metode sa znanstvenim saznanjima o frekvencijama i rezonanciji. [9] [3]



## **2.5. Znanstvena istraživanja i eksperimenti**

Zvučne vilice bile su ključni alat u mnogim znanstvenim eksperimentima vezanim uz akustiku. Hermann von Helmholtz, poznati njemački fizičar i fiziolog, koristio je zvučne vilice kako bi istražio fenomen harmonika i prirodu zvučnih valova. Helmholtz je pomoću specifičnih vilica izolirao različite frekvencije i proučavao njihovu interakciju s akustičnim prostorima, čime je unaprijedio razumijevanje fenomena rezonancije. Zvučne vilice također su korištene u eksperimentima vezanim uz mehaniku i vibracije. Na primjer, koriste se za određivanje brzine zvuka u različitim medijima. Ove vrste eksperimenata zahtijevaju vrlo precizne izvore zvuka, što je moguće postići pomoću zvučnih vilica zbog njihove stabilne i predvidljive frekvencije. U novijim istraživanjima, zvučne vilice pronašle su primjenu u područjima kao što su neurologija i psihologija zvuka. Studije su istraživale učinke zvučnih vibracija na ljudski mozak i na sposobnost koncentracije ili opuštanja. Zbog svojih jednostavnih mehaničkih svojstava i prirodne rezonancije, vilice su prikladne za eksperimente kojima se ispituje kako različite frekvencije utječu na moždane valove. [7]

## **2.6. Fizički principi rezonancije**

Iako sama vilica vibrira u zraku, njen zvuk može biti pojačan putem rezonancije s drugim materijalima. Rezonancija se događa kada frekvencija zvučne vilice pokrene vibracije u drugom objektu ili mediju, stvarajući povećanje amplitude zvučnog vala. Rezonancija je fenomen pri kojem jedan objekt prisiljava drugi da vibrira na njegovoj prirodnoj frekvenciji. Kada se zvučna vilica udari o čvrstu površinu, ona stvara vibracije koje titraju određenom frekvencijom. Te vibracije mogu se prenijeti na druge materijale, koji mogu rezonirati s vilicom i pojačati zvuk. Ključni čimbenici koji utječu na rezonanciju su gustoća, elastičnost i oblik materijala, kao i površina dodira između vilice i tog materijala. Materijali koji omogućuju dobru rezonanciju često imaju prirodnu sposobnost da prenesu vibracije kroz svoje strukture bez znatnog prigušivanja. Mogućnost prijenosa vibracija ovisi o tome kako materijal reagira na promjene u tlaku i energiji uzrokovanoj zvučnim valovima. Stoga materijali poput drva, metala, stakla i vode mogu na različite načine pojačati vibracije zvučne vilice. [10]

## **2.7. Rezoniranje na drvu**

Drvo je jedan od najčešće korištenih materijala za pojačanje zvuka zvučne vilice zbog svoje prirodne akustične svojstva. Zbog svoje elastične i rezonantne strukture, drvo lako prenosi vibracije kroz svoju masu, čime pojačava zvuk vilice. Ova svojstva čine drvo idealnim materijalom za izradu glazbenih instrumenata poput violina, gitara i klavira.

Kada zvučnu vilicu prislonimo na drvenu površinu, ta površina počinje vibrirati zajedno s vilicom. Kvaliteta zvuka koji se proizvodi ovisi o vrsti drva i njegovoj gustoći. Mekše vrste drva poput bora ili jele mogu ponuditi topliji ton, dok gušće vrste, poput hrasta ili mahagonija, mogu proizvesti jasniji i oštiji zvuk. Drvo je često korišteno kao rezonator u znanstvenim i glazbenim eksperimentima upravo zbog te sposobnosti da prenosi i pojačava zvučne vibracije.

## **2.8. Rezoniranje na metalima**

Metali su izuzetno efikasni u prijenosu zvučnih vibracija zahvaljujući svojoj gustoći i sposobnosti provođenja energije. Kada zvučna vilica dođe u kontakt s metalnom površinom, vibracije se pojačavaju, jer metal vibrira precizno i s minimalnim gubicima energije. Ova svojstva čine metale poput aluminija, bakra i čelika pogodnim materijalima za rezonatore, gdje aluminij pruža laganu i visoko učinkovitu amplifikaciju, dok čelik nudi snažan, jasan zvuk zbog svoje tvrdoće. [11]

## **2.9. Rezoniranje na staklu**

Staklo je također dobar materijal za rezonanciju, ali zbog svoje krhkosti i specifičnih akustičkih svojstava zvuk zvučne vilice može se čuti na specifičan način. Kada se vilica prisloni na staklenu površinu, ona može izazvati titraje u staklu, koji proizvode jasan, čist ton. Korištenje stakla kao rezonatora može pružiti poseban zvučni karakter, iako staklo nema toliku sposobnost apsorpcije i prijenosa vibracija kao drvo ili metal.

Staklo ima svoju prirodnu rezonantnu frekvenciju, a kada je ta frekvencija blizu frekvencije zvučne vilice, može doći do pojačanja zvuka. Međutim, zbog svoje krhkosti, staklo nije idealno za dugotrajnu upotrebu u akustičnim aplikacijama, ali može se koristiti u eksperimentalne svrhe. Kao primjer može se izdvojiti pucanje stakla pri određenoj frekvenciji. Ukoliko se zvučna vilica čija je frekvencija ista kao i rezonanca staklene čaše, može doći do pucanja stakla. [12]

## **2.10. Rezoniranje na vodi**

Iako zvuk putuje sporije u vodi nego u zraku, voda je vrlo zanimljiv medij za rezonanciju zbog svoje gustoće i dinamike tekućine. Kada se zvučna vilica stavi blizu vode ili u nju, vibracije se prenose kroz vodu, stvarajući vidljive valove na njenoj površini. Ovi valovi su fizička manifestacija zvučnih vibracija i mogu biti vrlo učinkoviti u vizualizaciji zvuka.

Kao materijal za rezonanciju, voda je korisna u eksperimentima koji se bave vizualizacijom i proučavanjem vibracija, ali zbog svoje tekuće prirode, nije idealna za preciznu kontrolu zvučnih valova. Međutim, voda može pojačati duboke, niskofrekventne tonove, čime daje poseban učinak koji je koristan u znanstvenim istraživanjima. [13]

### **3. Zvuk kao lijek**

Liječenje zvukom ima dugu i raznoliku povijest koja seže unatrag tisućljećima. Ova praksa, koja uključuje upotrebu zvuka za terapijske svrhe, povezana je s različitim kulturama i filozofijama diljem svijeta. Posebno zanimljivo u ovom kontekstu su zvučne vilice, alat koji je kroz povijest korišten za liječenje, a danas se i dalje primjenjuje u terapiji.

#### **3.1. Povijest Liječenja Zvukom**

Drevni Egipćani su bili među prvima koji su prepoznali važnost zvuka u duhovnom i tjelesnom zdravlju. U hramovima su koristili zvučne instrumente poput sistroma (ritmički instrument sa zvončićima) i zvona, koji su se smatrali sredstvima za postizanje unutarnjeg mira i harmonije. Zvuk je bio ključan u ritualima i ceremonijama, a vjerovalo se da kroz njega možete uspostaviti kontakt s božanskim. Egipatski hramovi često su dizajnirani s akustičkim karakteristikama koje su pojačavale zvuk, stvarajući prostor u kojem su zvukovi mogli prodrijeti u srce i dušu prisutnih. [14]

U Indiji, zvuk je odigrao ključnu ulogu u duhovnim i medicinskim praksama. U tradicionalnoj indijskoj medicini, poznatoj kao Ayurveda, zvuk se koristi za balansiranje energija u tijelu. Mantra, oblik meditativnog ponavljanja svetih zvukova, koristi se za postizanje duhovne ravnoteže i mentalnog mira. Sveta slova i riječi, kada se pravilno izgovaraju, smatraju se sredstvom za usklađivanje tijela s univerzalnim energijama. Indijska glazba, koja koristi specifične tonove i ritmove, također se koristi za stvaranje harmonije u tijelu i umu. [15]

Pitagora, grčki filozof i matematičar, prvi je uveo koncept da zvuk može imati iscjeljujuće moći. Smatrao je da su tonovi i harmonije povezani s univerzalnim zakonima i da određene frekvencije mogu utjecati na zdravlje i dobrobit ljudi. Pitagora je razvio teoriju poznatu kao "glazba sfera", prema kojoj su planetarni pokreti i zvukovi usklađeni s harmoničnim zakonima. Ove ideje su oblikovale kasnije filozofske i znanstvene teorije o zvuku i njegovom utjecaju na tijelo i um. [16]

U Tibetu, zvuk se koristi za duhovno i tjelesno iscjeljenje već tisućljećima. Tibetanske zdjele, gongovi i zvučne vilice koriste se u ritualima i terapijama za uravnoteženje energije i postizanje mentalne jasnoće. Tibetanski redovnici vjeruju da zvuk može pomoći u čišćenju negativnih energija i poticanju pozitivnih promjena u tijelu i duhu. Zvučne vilice, kada se pravilno koriste, mogu pomoći u stimuliranju čakri (energetskih centara) i postizanju unutarnje ravnoteže. [17] [18]

Pitagora je jedan od prvih poznatih korisnika zvučnih vilica, koristeći ih za proučavanje harmonije i rezonancije.

Danas se zvučne vilice koriste u različitim terapijskim pristupima, uključujući zvučnu terapiju i vibracijsku terapiju. Terapeut udara vilicu i postavlja je na određeni dio tijela, omogućujući zvuku da rezonira kroz tkiva i energetske centre. Ova praksa se temelji na vjerovanju da zvuk može pomoći u uravnoteživanju tijela i uma, potičući opuštanje, smanjenje stresa i poboljšanje cirkulacije.

U terapiji zvučnim vilicama, odabir frekvencije je ključan. Svaka frekvencija povezana je s određenim dijelom tijela ili čakrom. Terapeut koristi različite vilice kako bi stvorio harmoniju i rezonanciju koja pomaže u postizanju svojih ciljeva. Ovaj proces uključuje dodavanje vilica na tijelo ili u neposrednu blizinu, gdje zvuk može utjecati na fiziološke i energetske sustave.

Suvremene tehnike uključuju korištenje zvučnih vilica za specifične terapijske svrhe, kao što su ublažavanje boli, poboljšanje raspoloženja i poticanje bržeg oporavka. U nekim slučajevima, zvučne vilice se koriste u kombinaciji s drugim terapijskim metodama, kao što su masaža ili aromaterapija, kako bi se poboljšali rezultati. [19] [20]

## 3.2. Vilice kod ispitivanja sluha

Weberov test je jednostavan i brz test za procjenu lateralizacije zvuka, odnosno za otkrivanje na kojoj strani glave pacijent bolje čuje zvuk. Ovaj test omogućava razlikovanje između konduktivnog i senzoneuralnog gubitka sluha. Postupak je sljedeći: Prije svega, liječnik udara zvučnu vilicu o tvrdu površinu kako bi proizveo stabilan ton. Zvučne vilice koje se koriste za ovaj test obično vibriraju na frekvenciji od 512 Hz, jer se ta frekvencija smatra najprikladnijom za procjenu sluha. Pozicioniranje: Nakon što zvučna vilica počne vibrirati, liječnik je postavlja na središte pacijentovog čela, vrh glave ili na bradu. Ova pozicija osigurava da vibracije zvučne vilice jednako dolaze do oba unutarnja uha, omogućujući preciznu procjenu lateralizacije zvuka. Pacijent zatim prijavljuje u kojem uhu bolje čuje zvuk. Na temelju pacijentovog odgovora, liječnik može izvesti nekoliko zaključaka. [21]

Rinneov test je drugi ključni dijagnostički alat koji koristi zvučnu vilicu za usporedbu trajanja koštano i zračnog provođenja zvuka. Ovaj test pomaže u daljnjoj diferencijaciji između konduktivnog i senzoneuralnog gubitka sluha. Generiranje zvuka: Kao i kod Weberovog testa, zvučna vilica se udara kako bi proizvela zvuk. Nakon što zvučna vilica počne vibrirati, test može započeti. Koštano provođenje: Liječnik prvo postavlja vibrirajuću zvučnu vilicu uz mastoidni nastavak iza pacijentovog uha. Ovo mjesto omogućuje direktan prijenos zvučnih vibracija kroz kost do unutarnjeg uha, zaobilazeći vanjski i srednji ušni kanal. Zračno provođenje: Nakon što pacijent prijavi da više ne čuje zvuk kroz koštano provođenje, liječnik premješta zvučnu vilicu ispred uha, bez dodira s pacijentom, gdje zvuk putuje kroz zrak do bubnjića i unutarnjeg uha.

Procjena rezultata: Normalan sluh ili senzoneuralni gubitak sluha: Ako pacijent bolje čuje zvuk kada je vilica ispred uha (zračno provođenje), to je normalan rezultat ili može ukazivati na senzoneuralni gubitak sluha, gdje zračno provođenje zvuka traje duže nego koštano.

Konduktivni gubitak sluha: Ako pacijent bolje čuje zvuk kada je vilica postavljena na mastoidni nastavak (koštano provođenje), to ukazuje na konduktivni gubitak sluha, gdje je zračno provođenje zvuka oštećeno, ali koštano provođenje ostaje relativno nepromijenjeno. [22]

### 3.3. Primjena rezonatora u glazbi i znanosti

Rezonatori su ključni elementi u mnogim glazbenim instrumentima i znanstvenim uređajima. U glazbi, rezonatori pojačavaju zvuk instrumenta, dajući mu karakterističan ton i volumen. U znanosti, rezonatori se koriste za precizna mjerenja frekvencija i amplituda, a materijali poput drva, metala i stakla omogućuju različite vrste pojačanja zvučnih vibracija.

Jedan od najpoznatijih primjera je staklena harfa, instrument koji koristi staklene zdjele koje rezoniraju pri dodiru s mokrim prstima. Ovaj efekt rezultat je rezonancije stakla na specifičnoj frekvenciji, koja se pojačava kad se zdjela počne titrati. Sličan efekt može se postići s metalnim ili drvenim rezonatorima koji pojačavaju vibracije zvučne vilice. [23]

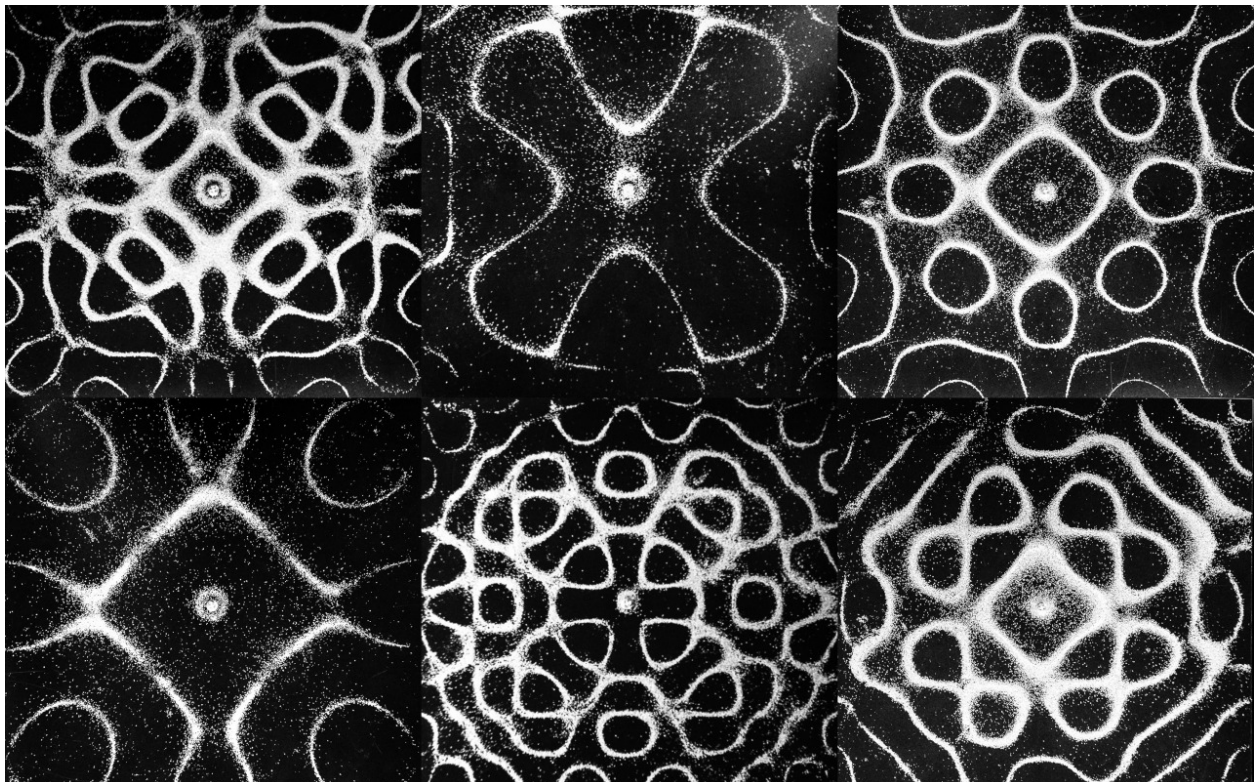


*Slika 4: Benjamin Franklin, staklena harfa, pristupljeno 8.9.2024*

## 4. Vizualizacija zvuka

Zvuk, iako nevidljiv, ostavlja svoj trag na svijet oko nas. Kroz povijest, mnogi umjetnici, znanstvenici i istraživači razvijali su tehnike kako bi vizualizirali zvuk i njegovu interakciju s materijalnim svijetom. Zvučni valovi, kao oscilacije čestica zraka ili drugog medija, mogu se prikazati na različite načine, bilo kroz pokret, oblik ili svjetlost. Jedan od osnovnih načina vizualizacije zvučnih valova je pomoću osciloskopa, uređaja koji prikazuje amplitude i frekvencije zvučnog signala na ekranu. Na osciloskopu možemo vidjeti oblik valova koji predstavlja karakteristike zvuka, poput čistoće tona, složenosti ili amplitude.

Drugi način na koji se zvuk može učiniti vidljivim je kroz fenomen poznat kao Chladnijevi uzorci. Ovaj efekt otkrio je njemački fizičar Ernst Chladni krajem 18. stoljeća. Kada se metalna ploča prekrije finim pijeskom i stimulira pomoću gudala ili zvučne vilice, vibracije ploče uzrokuju da se pijesak reorganizira u prepoznatljive uzorke, koji reflektiraju čvorove i antinodove zvučnih valova na ploči. Ovi složeni, simetrični oblici omogućuju vizualizaciju zvučnih valova i prikazuju njihovu frekvenciju i amplitudu u fizičkom obliku. [24]



*Slika 5: Chladnijevi uzorci na pijesku, pristupljeno 8.9.2024.*



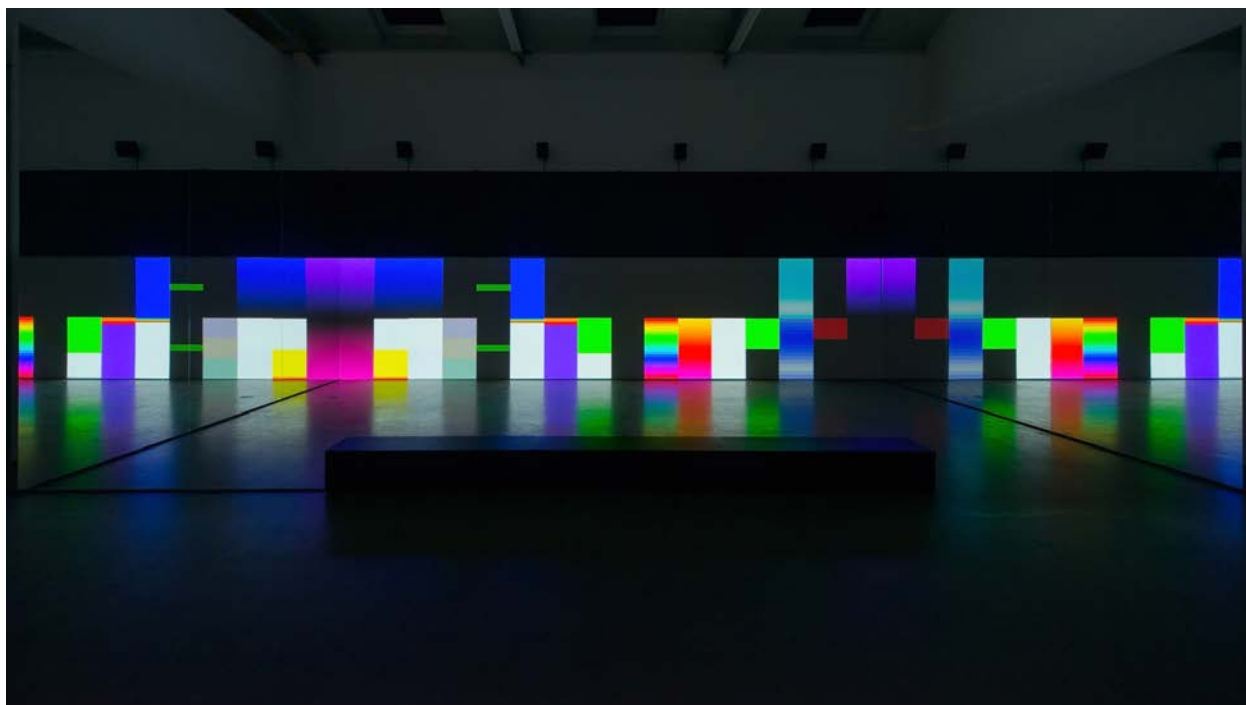
#### **4.1. Cymatics – Umjetnička i znanstvena disciplina vizualizacije zvuka**

Cymatics je područje istraživanja koje se bavi proučavanjem vidljivih vibracija zvuka na materiji. Ova disciplina izravno se oslanja na fiziku zvuka i vibracija te je postala važan alat u umjetničkim praksama, kao i u znanstvenim eksperimentima. Različiti mediji, poput tekućina, pijeska ili membrana, koriste se za prikazivanje zvučnih frekvencija kroz promjene u obliku i teksturi površina.

Primjer korištenja cymatics u umjetnosti je rad švicarskog liječnika i istraživača Hansa Jennyja. Jenny je sredinom 20. stoljeća proveo niz eksperimenata u kojima je različite tvari, poput pijeska i tekućina, izložio vibracijama zvuka i tako dokumentirao nastale uzorke. Njegovi radovi pokazali su kako zvuk različitih frekvencija može generirati specifične oblike, čime je pružio temelje za daljnje umjetničke i znanstvene eksperimente s vizualizacijom zvuka. [25]

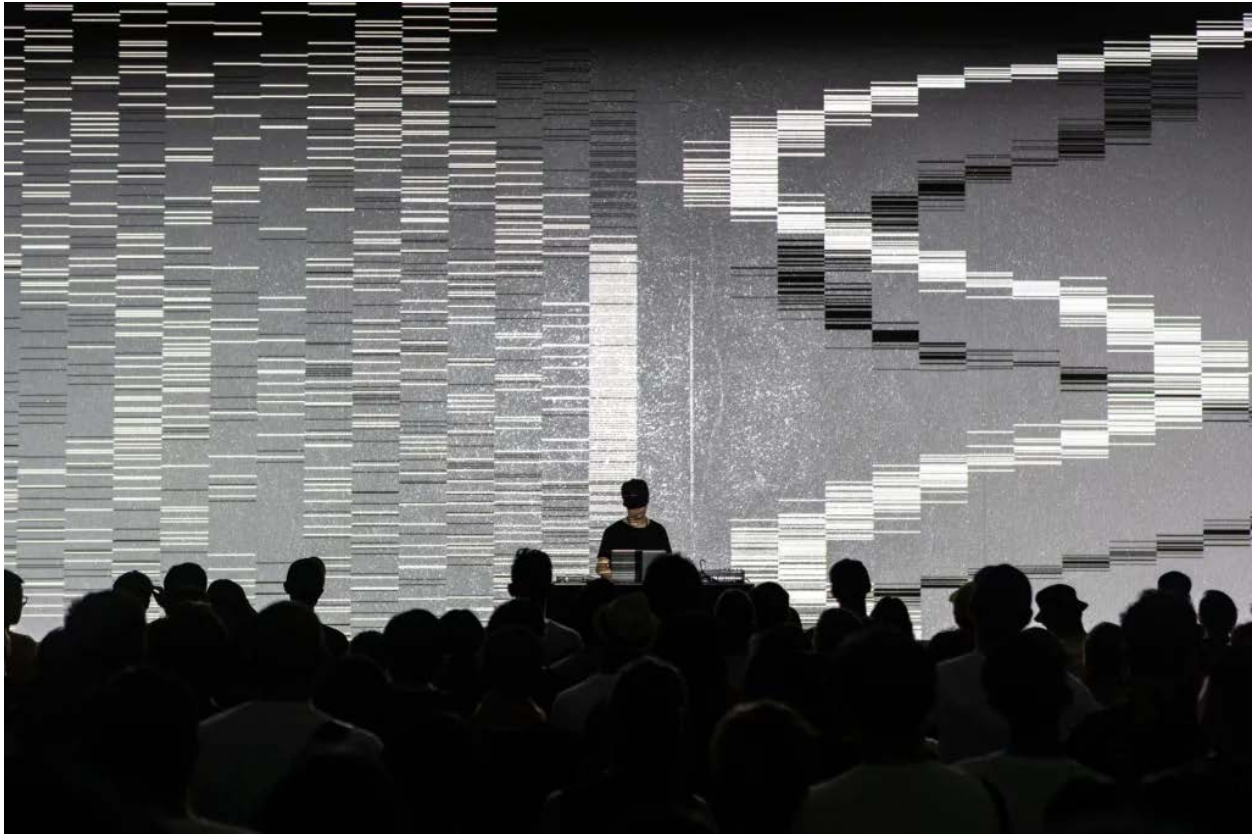
## 4.2. Primjena vizualizacije zvuka u suvremenoj umjetnosti

Zvuk se često koristi kao ključni element instalacija i performansa, pri čemu on prelazi granicu slušnog u vizualni dio. Korištenje zvučnih vibracija za stvaranje pokreta ili promjene u materijalima omogućuje istraživanje odnosa između zvuka i prostora. Jedan od poznatih umjetnika koji se bavi vizualizacijom zvuka je Carsten Nicolai, njemački vizualni umjetnik i glazbenik. Njegov rad obuhvaća instalacije koje koriste zvučne frekvencije za stvaranje svjetlosnih ili vizualnih efekata, često putem korištenja vode, svjetla i zvučnih vibracija. U svojoj seriji radova pod nazivom Cyclo, Nicolai koristi osciloskope i zvučne frekvencije kako bi stvorio apstraktne, matematičke vizualne oblike koji se temelje na prirodnim zakonima akustike. [26]



*Slika 6: Carsten Nicolai i Ryoji Ikeda, pristupljeno 8.9.2024.*

Još jedan primjer je rad japanskog umjetnika Ryojija Ikeda, koji koristi zvuk i svjetlo kako bi istražio granice percepcije. U svojim instalacijama Ikeda koristi visoke frekvencije zvuka i treperava svjetla kako bi stvorio intenzivne multisenzorne doživljaje. Njegov rad "test pattern" koristi binarne podatke pretvorene u zvučne valove i projicira ih na zidove galerija u obliku brzih svjetlosnih impulsa, stvarajući simultano vizualno-zvučno iskustvo. [27]



*Slika 7: Ryoji Ikeda: "For me, there's no separation between sound and visuals", pristupljeno 8.9.2024.*

### **4.3. Znanstvene tehnike vizualizacije zvuka**

Osim Chladnijevih uzoraka i osciloskopa, znanstvenici koriste brojne moderne tehnologije za vizualizaciju zvuka. Jedna od takvih tehnologija je laserska interferometrija, koja koristi laserske zrake za detekciju promjena u vibracijama. Ova tehnika omogućuje iznimno precizno mjerenje vibracija uzrokovanih zvukom, što je korisno u istraživanju ultrazvučnih i infrasoničnih valova, koje ljudsko uho ne može percipirati.

U suvremenim znanstvenim istraživanjima, 3D vizualizacija zvučnih valova postaje sve važnija. Koristeći računalno generirane modele i simulacije, znanstvenici mogu stvoriti vizualne prikaze složenih zvučnih fenomena, poput interferencije, refleksije i loma valova. Ova vrsta simulacija koristi se u područjima poput arhitektonske akustike, gdje je važno razumjeti kako zvuk prolazi kroz prostor, te u medicinskoj ultrazvuk tehnologiji. [28] [29]

#### 4.4. Vizualizacija zvuka kroz prirodne fenomene

Zvuk se može vizualizirati i putem prirodnih pojava, a ne samo umjetničkim instalacijama ili znanstvenim okvirima. Na primjer, zvučni valovi mogu uzrokovati rezonanciju u čvrstim tijelima, što dovodi do vibracija vidljivih golim okom. Također, u specifičnim uvjetima, poput snažnih zvučnih eksplozija ili detonacija, zvuk može utjecati na prašinu, pijesak ili tekućine, stvarajući valovite uzorke ili čak male "zvučne udare" vidljive u zraku.

Još jedan primjer je prirodni fenomen poznat kao "singing sands". U pustinjama i na određenim plažama, pod utjecajem vjetra ili trenja, zrna pijeska stvaraju zvučne valove koji se mogu čuti, a u nekim slučajevima i vidjeti kroz pokrete pijeska. Ovi fenomeni pokazuju kako priroda može vizualizirati zvuk bez ljudske intervencije. [30]



*Slika 8: Singing sand, pristupljeno 8.9.2024.*

## 5. Eksperimentalni zvuk u umjetnosti

Eksperimentalni zvuk je pojam koji se koristi za opisivanje zvučnih praksi koje prelaze granice tradicionalnih glazbenih formi i normi, istražujući nove metode stvaranja, manipuliranja i percipiranja zvuka. Eksperimentalni pristup zvuku omogućava stvaranje i istraživanje novih područja. Vrlo često se koriste nekonvencionalni instrumenti, analogna ili digitalna tehnologija koja nije toliko popularna u mainstream glazbi. Eksperimentalni zvuk može se definirati kao istraživački proces u kojem se zvukom prelazi tradicionalna granica žanra, strukture, ritma, harmonije i melodije. Takvi projekti često uključuju interdisciplinarnе pristupe, kombinirajući glazbu, zvučnu umjetnost, tehnologiju, znanost, pa čak i filozofiju kako bi stvorili zvučne doživljaje.

Prema Davidu Toopu, britanskom glazbeniku i autoru, "eksperimentalna glazba odlikuje se visokim stupnjem otvorenosti prema nepoznatom, nečemu što nadilazi ustaljene norme glazbenog stvaranja i slušanja". Ova definicija jasno naglašava da eksperimentalni zvuk nije samo inovacija unutar postojećih okvira, već i spremnost na radikalno preispitivanje samih osnova glazbene forme. Eksperimentalni zvuk ima svoje korijene u avangardnim pokretima ranog 20. stoljeća, kada su umjetnici poput Edgara Varèse, Johna Cagea i Luigija Russola počeli istraživati nove zvukove i metode glazbene proizvodnje. Luigi Russolo, talijanski futurist, 1913. godine objavio je manifest "Umjetnost buke" (L'arte dei rumori), u kojem je tvrdio da glazba treba uključiti zvukove industrijskog društva – poput buke strojeva, gradskih zvukova i prirodnih fenomena . [31] [32]



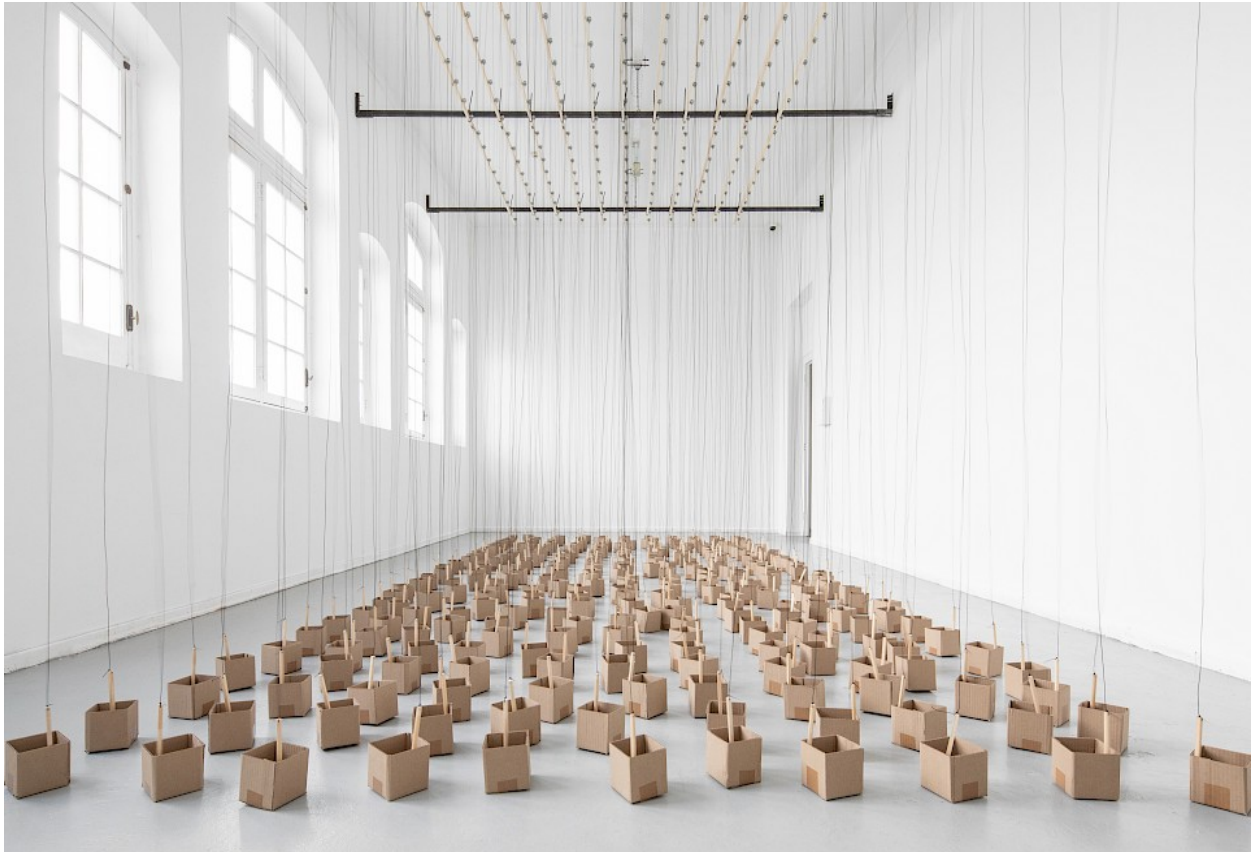
*Slika 9: Manifest, Luigi Russolo - L'arte dei rumori, pristupljeno 8.9.2024.*

Jedan od poznatijih primjera eksperimentalnog zvuka je John Cageova kompozicija 4'33", u kojoj izvođači ne proizvode zvuk s namjerom da instrumenti "sviraju", već je tišina sama po sebi performans. Tijekom tih četiri minute i trideset tri sekunde, slušatelji su pozvani da osvijeste okolne zvukove – šumove publike, zvukove iz vanjskog okruženja, te vlastite misli . [33]

U suvremenom kontekstu, švicarski umjetnik Zimoun stvara zvučne instalacije koje se mogu smatrati vrhunskim primjerima eksperimentalnog zvuka. Njegovi radovi koriste jednostavne mehaničke sustave, često uključujući motore, kutije, i druge svakodnevne predmete kako bi stvorili kompleksne, meditativne zvučne pejzaže. Zimounove instalacije stvaraju okruženja u kojima zvuk postaje fizički prisutan, gotovo opipljiv, te pružaju gledatelju iskustvo koje je jednako vizualno i auditivno. Tehnološki napredak ima ključnu ulogu u razvoju eksperimentalnog zvuka. S pojavom novih digitalnih alata, kao što su softverski sintesajzeri, granularna sinteza, te manipulacija zvukom u realnom vremenu, umjetnici danas imaju na raspolaganju nevjerovatno širok spektar mogućnosti za istraživanje novih zvučnih teritorija. Na primjer, tehnologije poput Pure Data omogućuje umjetnicima da programiraju vlastite zvučne alate i razvijaju nove forme interaktivne glazbe i zvučne umjetnosti.

## 6. Poznati umjetnici i dizajneri zvuka

Na međunarodnoj sceni, jedan od najpoznatijih umjetnika zvučnih instalacija je Zimoun, švicarski umjetnik čiji radovi istražuju minimalizam, mehaničke procese i zvuk. Njegove instalacije često uključuju stotine identičnih elemenata, poput motora ili štapića, koji stvaraju kompleksne zvučne pejzaže kroz jednostavne, ponavljajuće pokrete. Zimounovi radovi su izlagani diljem svijeta, a njegova sposobnost da spoji zvuk i arhitekturu čini ga jednim od najvažnijih figura u suvremenoj umjetnosti zvuka. [34] [35]



*Slika 10: Museum of Contemporary Art MAC Santiago de Chile, 2019, pristupljeno 8.9.2024.*



Također, Ivan Marušić Klif jedan je od vodećih hrvatskih umjetnika u području eksperimentalnog zvuka i multimedije. Klif se bavi kombinacijom zvuka, svjetla i videa, stvarajući interaktivne instalacije koje često uključuju složene tehnološke sustave. Njegovi radovi istražuju granice percepcije, stvarajući iskustva koja potiču publiku na promišljanje o prirodi zvuka i prostora.



*Slika 11: Kinetic rescanning, 2013. pristupljeno 8.9.2024.*

## **7. Frekvencije u svakodnevnom životu**

Svaki prostor i objekt oko nas vibriraju na određenim frekvencijama. Na primjer, gradske ulice često su ispunjene niskofrekventnim zvukovima poput automobila, zgrada koje vibriraju i klima uređaja, dok ruralna područja mogu biti ispunjena visokofrekventnim zvukovima životinja. Ove frekvencije utječu na naše emocionalno stanje i oblikuju način na koji doživljavamo prostor.

Neki umjetnici i istraživači koriste ove frekvencije za dizajniranje prostora s posebnim akustičkim karakteristikama, poput "zvučnih skulptura" ili arhitektonskih struktura koje pojačavaju ili prigušuju određene frekvencije. Na taj način, frekvencije postaju ne samo dio zvučne estetike, već i alat za oblikovanje prostora i iskustva unutar njega.

## 8. Zvučne instalacije i arhitektura

Zvučne instalacije i arhitektura predstavljaju međusobno povezane discipline koje istražuju odnos između prostora, zvuka i ljudske percepcije. Zvuk nije samo auditivni fenomen već i fizički entitet koji može oblikovati naš doživljaj prostora. U ovom kontekstu, arhitektura više nije samo vizualna i funkcionalna umjetnost, već postaje interaktivno iskustvo u kojem zvuk igra ključnu ulogu. Kroz zvučne instalacije i akustički dizajn, arhitekti i umjetnici mogu manipulirati percepcijom prostora, stvarajući jedinstvena okruženja koja potiču interakciju, refleksiju i emociju.

### 8.1. Zvučne skulpture kao integralni dio arhitekture

Zvučne skulpture predstavljaju jedinstven spoj zvuka i vizualne umjetnosti, gdje se zvuk koristi kao primarno sredstvo izražavanja. Ove skulpture mogu biti trajno postavljene u javnim prostorima, integrirane u arhitekturu ili postavljene u galerijama kao privremene instalacije. Jedan od najpoznatijih primjera zvučnih skulptura je *Aeolian Harp* (Eolska harfa), instrument koji koristi vjetar za stvaranje zvuka.

**Aeolian Harp** je uređaj koji se sastoji od žica koje su napete između dvije točke, obično unutar okvira, a kada vjetar prolazi preko tih žica, stvara harmonične zvukove. Ova skulptura često se koristi kao interaktivni element koji povezuje prirodni okoliš s ljudskom kreativnošću. Primjerice, eolska harfa postavljena u vrtu ili na otvorenom prostoru ne samo da dodaje akustički element dizajnu, već i stvara vezu između prirodnih elemenata (vjetra) i arhitektonske strukture. Na ovaj način, zvuk postaje integralni dio prostora, stvarajući stalno mijenjajući auditivni doživljaj. [36]



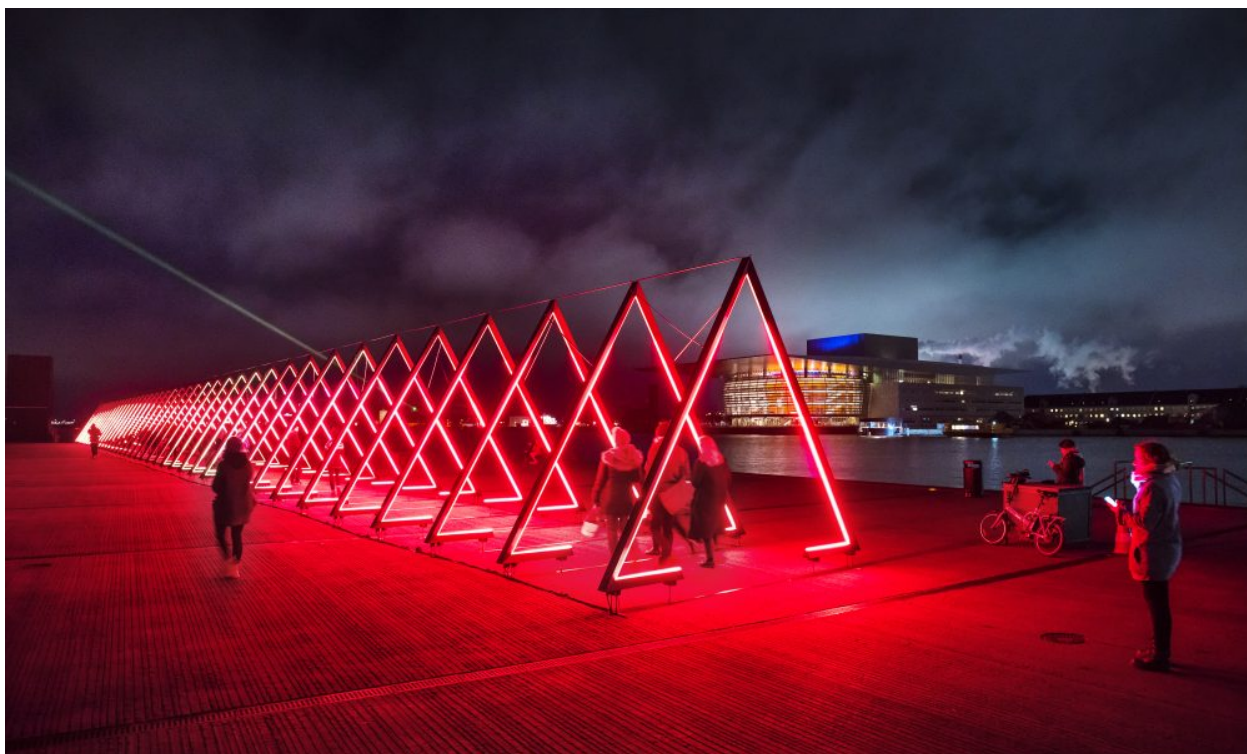
*Slika 12: Aeolian Harp, pristupljeno 8.9.2024.*

## 8.2. Arhitektura i akustika

Arhitektura je oduvijek imala ključnu ulogu u oblikovanju akustičkih karakteristika prostora, bilo da se radi o koncertnim dvoranama, crkvama ili modernim javnim zgradama. Dizajn prostora za optimalnu zvučnu izvedbu zahtijeva pažljivo planiranje i razumijevanje akustike, odnosno načina na koji se zvuk ponaša u određenom prostoru. **Koncertne dvorane** su klasičan primjer gdje arhitektura i akustika moraju raditi u sinergiji. Dvorane poput *Walt Disney Concert Hall* u Los Angelesu, koju je dizajnirao Frank Gehry, primjer su prostora koji je posebno oblikovan kako bi pružio optimalan akustički doživljaj. [37] Gehry je blisko surađivao s akustičarom Yasuhisom Toyotom kako bi stvorio prostor koji ne samo da vizualno impresionira, već pruža i vrhunski zvučni doživljaj. Svaka površina u dvorani, od zakrivljenih zidova do reflektirajućih panela, dizajnirana je kako bi usmjeravala zvuk na način koji omogućuje ravnomjernu distribuciju i jasnoću tonova u cijelom prostoru. **Crkve i katedrale** također su poznate po svojim akustičkim svojstvima. Na primjer, *Bazilika sv. Petra u Vatikanu* ima jedinstvene akustičke karakteristike zbog svog velikog volumena i složene geometrije. [38]

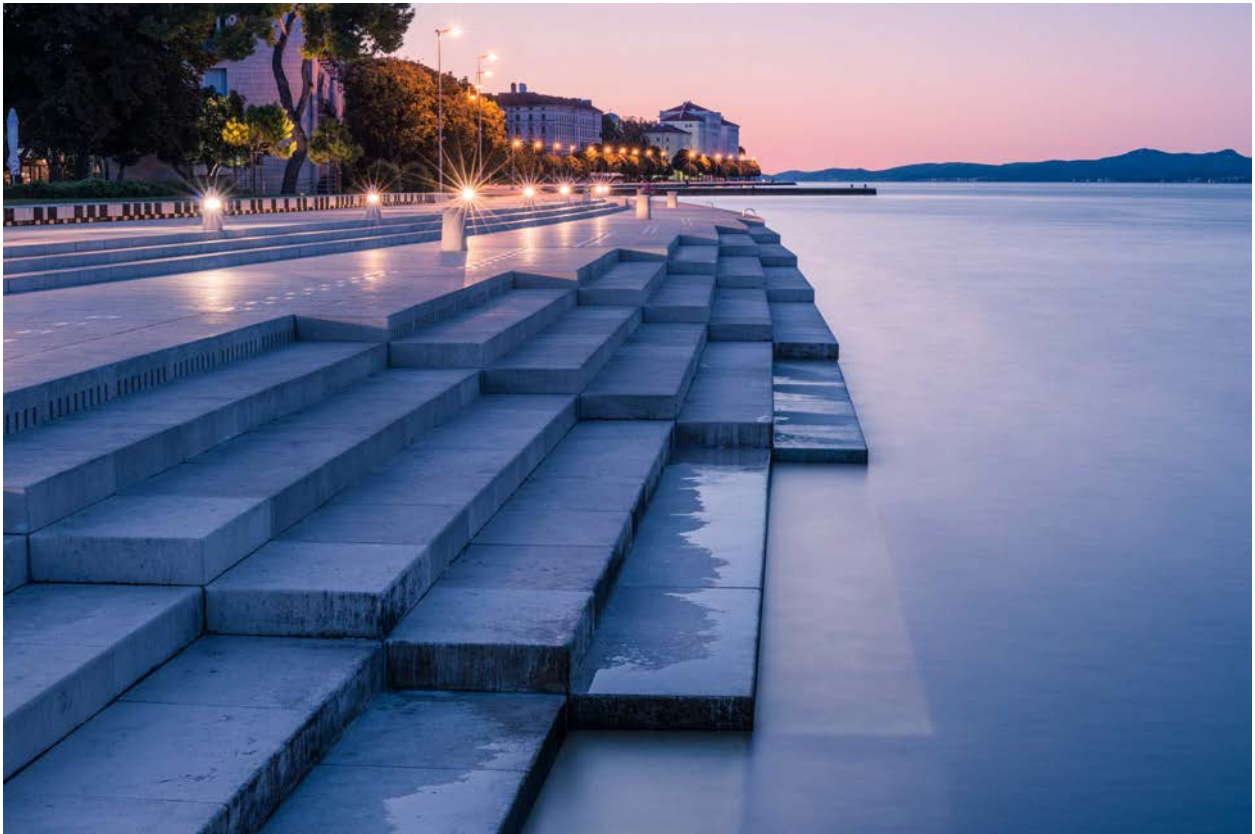
### 8.3. Interaktivne zvučne instalacije u javnim prostorima

Interaktivne zvučne instalacije omogućuju posjetiteljima da istraže zvuk i prostor na nov način, često potičući interakciju i vrstu angažmana. Ove instalacije mogu biti trajno postavljene u javnim prostorima, parkovima, trgovačkim centrima ili kao privremeni umjetnički projekti. Jedan od poznatijih primjera interaktivnih zvučnih instalacija u javnom prostoru je *The Wave* u Kopenhagenu, projekt koji su osmislili Recoil Performance Group. Instalacija se sastoji od niza velikih, zakrivljenih panela koji reagiraju na kretanje prolaznika stvarajući zvučne efekte i svjetlosne reakcije. Instalacija omogućava posjetiteljima da postanu aktivni sudionici, stvarajući zvuk jednostavnim hodanjem kroz prostor. [39]



*Slika 13: The Wave, Copenhagen, pristupljeno 8.9.2024.*

Kao još jedan primjer, morske orgulje u Zadru sastoje se od niza cijevi različitih duljina i promjera, ugrađenih u kamene stepenice koje se spuštaju prema moru. Cijevi su raspoređene na način da omogućuju ulaz zraka koji stvara zvuk kada valovi udaraju o obalu. Orgulje se protežu duž 70 metara obale, a zvučne cijevi smještene su ispod razine mora. Zrak, koji se gura kroz cijevi zbog kretanja valova, prolazi kroz rezove na površini stepenica i proizvodi raznolike tonove, ovisno o snazi i ritmu valova. [40]



*Slika 14: Morske orgulje, Zadar, pristupljeno 8.9.2024.*

## 8.4. Akustika i dizajn u suvremenoj arhitekturi

Suvremena arhitektura sve više prepoznaje važnost akustike kao sastavnog dijela dizajna zgrada. Prostorije koje se koriste za sastanke, konferencije ili edukacije zahtijevaju specifičan akustički tretman kako bi se osigurao jasan i razumljiv zvuk. Na primjer, u projektima kao što je *The Edge* u Amsterdamu, najzelenija zgrada na svijetu, poseban je naglasak stavljen na akustički dizajn prostorija za sastanke i zajedničke prostore. Korištenjem zvučnih apsorbera, reflektora i difuzora, arhitekti su stvorili prostor koji podržava produktivnost i suradnju kroz optimiziranu akustiku. [41]



*Slika 15: The Edge, Amsterdam, pristupljeno 8.9.2024.*



## 9. Zvučna instalacija

Zvučna instalacija koja predstavlja ovaj rad istražuje složenost zvuka i našu percepciju stvarnosti kroz igru kontrasta i poimanje savršenstva. Rad se temelji na tezi da smo mi, kao ljudska bića, samo sitne, nesavršene točke unutar svijeta koji je oblikovan savršenim frekvencijama. Te frekvencije, čiste i precizne, neprestano nas okružuju i definiraju našu stvarnost. Pitanje koje postavljam ovom instalacijom je: "Hoćemo li osvijestiti te frekvencije i aktivno percipirati svijet oko sebe, ili ćemo biti vođeni njima, nesvjesni cikličnosti u kojoj živimo?"

U središtu rada je zvučna instalacija postavljena u AK Galeriji, koja se sastoji od osam kutija – četiri metalne i četiri drvene. One su ostavljene u krug, promjera 3m. Odabir tih materijala nije slučajna; metal i drvo predstavljaju kontrast između tvrdoće i prirodnosti, čime se naglašava njihova suprotnost. Kutije su raspoređene u krug, što simbolizira savršenstvo, baš kao što su i frekvencije zvuka koje iz njih dolaze savršene u svojoj čistoći i rezonanciji. Posjetitelji sjede unutar tog kruga, postajući dio instalacije te se potiču na promišljanje o svojoj ulozi u svijetu okruženog zvukom.

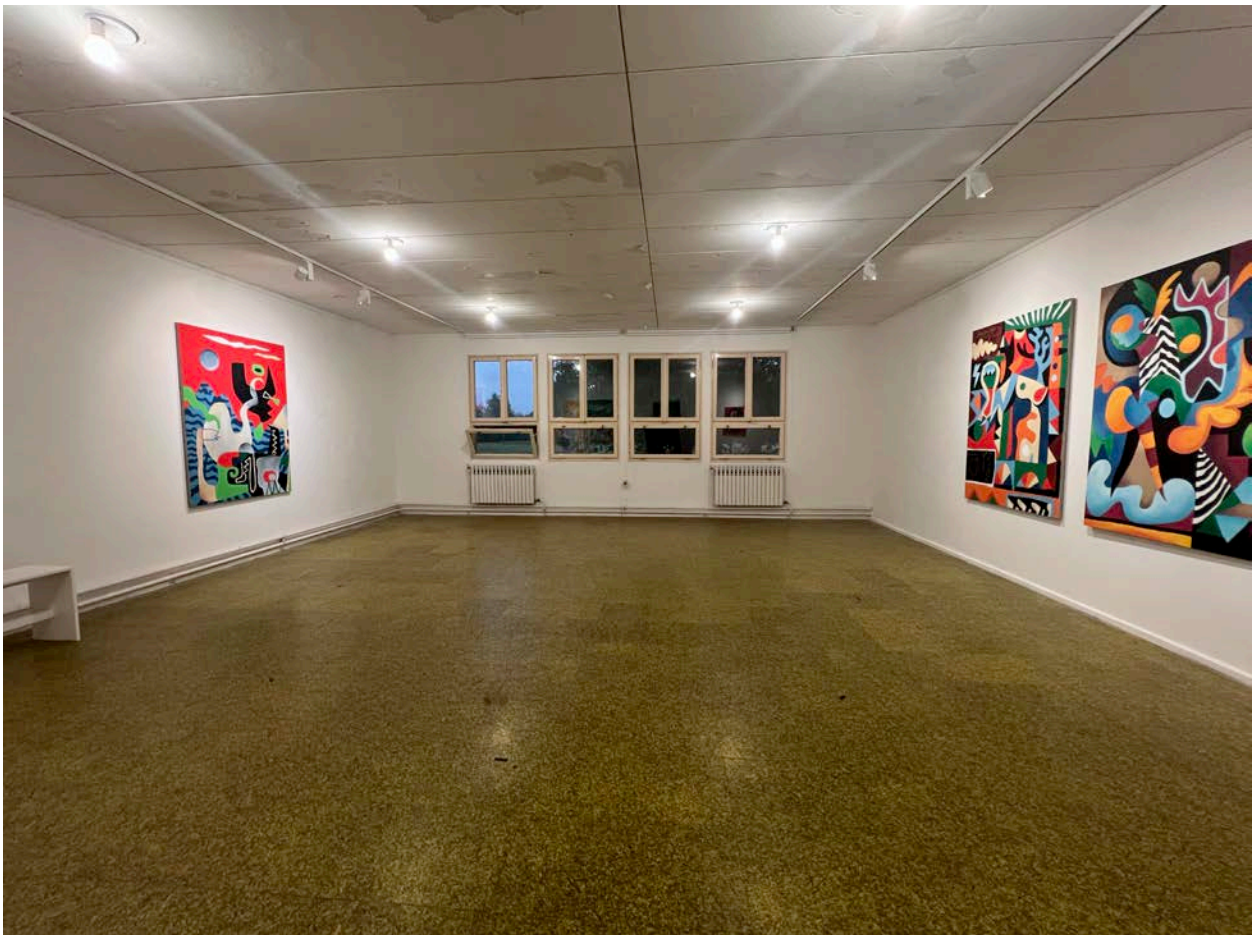
Zvuk koji izlazi iz kutija nije rezultat izravnog dodira, već se generira kroz složen sustav. Korištenjem bakrene žice omotane u obliku zavojnice, provodi se digitalni signal u frekvencijama između 60 Hz i 500 Hz. Zvuk postaje čujan u trenutku kada se zavojnica nalazi oko zvučne vilice. Svaka zvučna vilica, smještena na drvenoj ili metalnoj kutiji, rezonira određenu frekvenciju, prenoseći je kroz prostor galerije. Na taj način zvuk – savršenstvo frekvencije – prolazi kroz nesavršene materijale, stvarajući kontrast između apstraktnih, čistih vibracija i materijalne stvarnosti koja nas okružuje.

Ova instalacija nije samo fizička manifestacija zvuka, već i simbolički prikaz odnosa između savršenog i nesavršenog, stvarnog i perceptivnog. Instalacija potiče razmišljanje o našoj sposobnosti da prepoznamo i razumijemo frekvencije koje oblikuju naš svijet te o tome hoćemo li ostati nesvjesni i zarobljeni u cikličnosti, ili ćemo se odvažiti izaći iz tog kruga i osvijestiti svoju ulogu u njemu.

## 9.1. Prostor

Jedan od ključnih faktora svake zvučne izvedbe je prostor u kojem se ona izvodi. Svaki prostor ima specifična akustična svojstva, kao što su veličina, oblik, zvučna izolacija i sposobnost odraza zvuka. U mojem slučaju, prostor AK galerije igra važnu ulogu u odnosu na savršene frekvencije i odgovara temi instalacije. Galerija, okružena bijelim zidovima, stvara osjećaj nelagode dok posjetitelji slušaju frekvencije, što je i bio jedan od ciljeva rada.

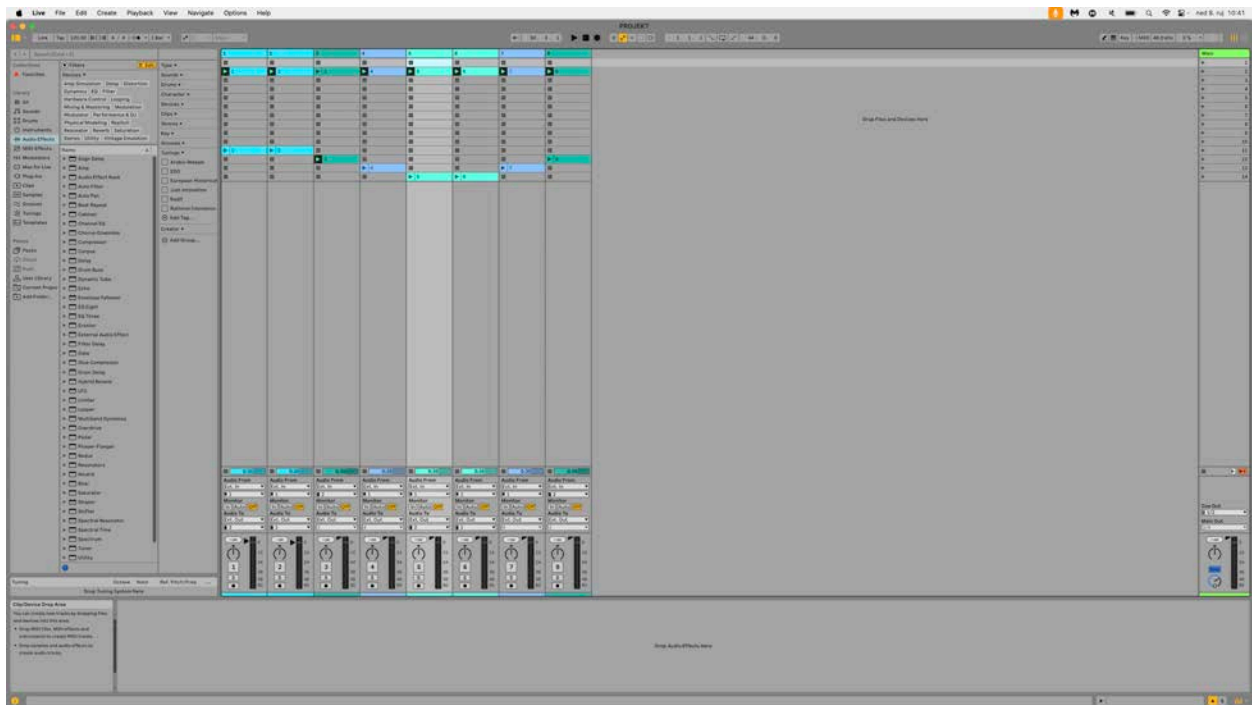
Prostor galerije ima izraženu jeku, što dodatno utječe na percepciju zvuka, ali postavlja i određena ograničenja. Zbog akustičnih karakteristika prostora, instalacija je zamišljena za manji broj posjetitelja – nije predviđeno da bude više od desetak osoba unutar galerije istovremeno. U suprotnom, zvučna kompozicija bi izgubila svoj efekt, a rezoniranje frekvencija ne bi bila adekvatno prenesena zbog prevelikog broja tijela unutar prostora koja bi apsorbirala zvuk.



*Slika 16: AK galerija, vlastiti izvor*

## 9.2. Dobivanje zvuka - proces

Proces dobivanja zvuka u mojoj instalaciji slijedi precizno razrađen sustav. Prvi korak započinje puštanjem unaprijed generiranih frekvencija s laptopa, pri čemu koristim program za oblikovanje zvuka Ableton Live 12. U programu je postavljeno osam kanala, svaki s unaprijed definiranim frekvencijama. Četiri frekvencije namijenjene su drvenim kutijama, dok su preostale četiri namijenjene metalnim kutijama. Kako bih kontrolirao puštanje zvukova, koristim tipkovnicu laptopa, pri čemu tipke od 1 do 8 omogućuju aktivaciju određenih kanala.



Slika 16: Sučelje Ableton 12 programa, pristupljeno 8.9.2024.

Zvukovi iz laptopa šalju se na vanjsku zvučnu karticu koja ima četiri izlaza, što omogućuje raspodjelu digitalnih signala.



Slika 18: Zvučna kartica, prednja strana, pristupljeno 8.9.2024.



Slika 17: Zvučna kartica, stražnja strana, pristupljeno 8.9.2024.

Ti signali potom prolaze kroz osamkanalno audio pojačalo koje mi omogućuje preciznu kontrolu nad intenzitetom svakog pojedinog zvuka.



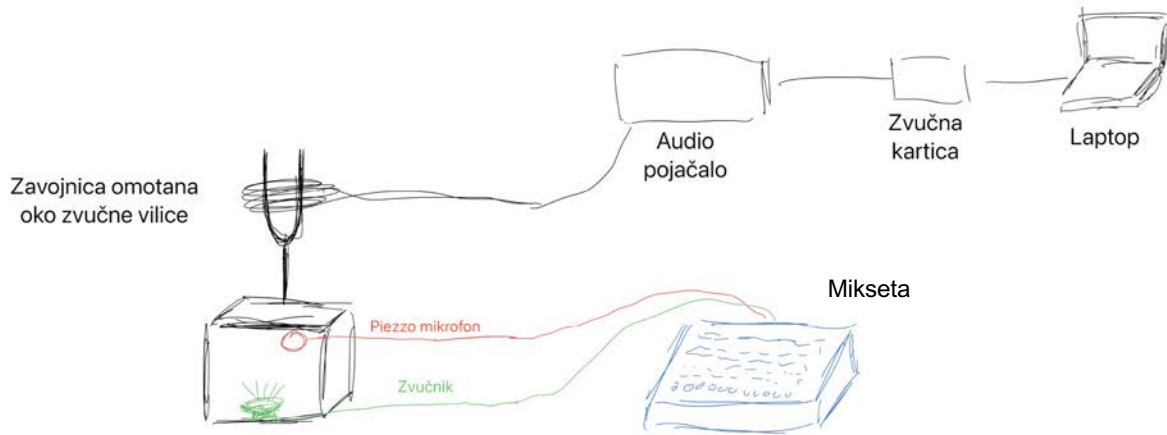
Slika 19: Audio pojačalo, pristupljeno 8.9.2024.

Nakon što su pojačani, signali se šalju na osam zavojnica, od kojih je svaka omotana oko zvučne vilice. Zavojnica počinje proizvoditi zvuk kada kroz nju prođe struja (zvuk), što stvara magnetsko polje koje uzrokuje vibriranje zvučne vilice. Vibracije vilice prenose se na drvene ili metalne kutije, čime se stvara rezoniranje. Za zavojnice koristim žicu debljine 0,4 mm, a otpor svake zavojnice iznosi 4  $\Omega$ . Ovaj otpor dobiven je pomoću formule  $R = \rho * L / A$ , pri čemu je bilo potrebno omotati 30 metara žice kako bih postigao željeni otpor.



*Slika 20: Zavojnica, pristupljeno 8.9.2024.*

Skica sustava prikazuje cijeli proces u detalje, uključujući dodatne komponente poput piezo mikrofona, zvučnika i miksete.



*Slika 21: Skica rada, vlastiti izvor*

Zvuk koji proizlazi iz zavojnica relativno je tih, pa je bilo potrebno osigurati dodatno pojačanje tijekom izvedbe. U tu svrhu koristim piezo mikrofone, koji funkcioniraju na način da hvataju zvuk samo kada su u fizičkom kontaktu s objektom. Piezo mikrofonski kabl (koji je spojen s low noise mikrofonskim kablom osigurava minimalan šum tokom izvedbe) pričvršćen je na svaku drvenu i metalnu kutiju kako bi hvatao rezoniranje vilice. Zvuk iz mikrofona zatim ulazi u miksetu, a pomoću "direct output" izlaza šaljem zvuk u zvučnik unutar kutije. Korištenjem ovog izlaza mogu kontrolirati glasnoću svake kutije pojedinačno, čime osiguravam ravnotežu i kvalitetu zvuka tijekom cijele izvedbe.

Nakon što sam proizveo zvuk kroz zavojnicu i zvučna vilica se aktivirala, taj zvuk hvatam pomoću piezo mikrofona kako je već i prije objašnjeno. Svaki piezo mikrofon spojen je low noise mikrofonskim kablom te zalemljen na muški XLR završetak.



*Slika 22: XLR završetak, vlastiti izvor*



*Slika 22: Piezo mikrofon, pristupljeno 11.9.2024.*



Taj isti piezo mikrofon spojen je na miksetu u utor „MIC IN“. Njegov monitor zvučnik spojen je u „DIRECT OUT“ izlaz. Na taj način spajanja imam kontrolu nad pojedinom kutijom.

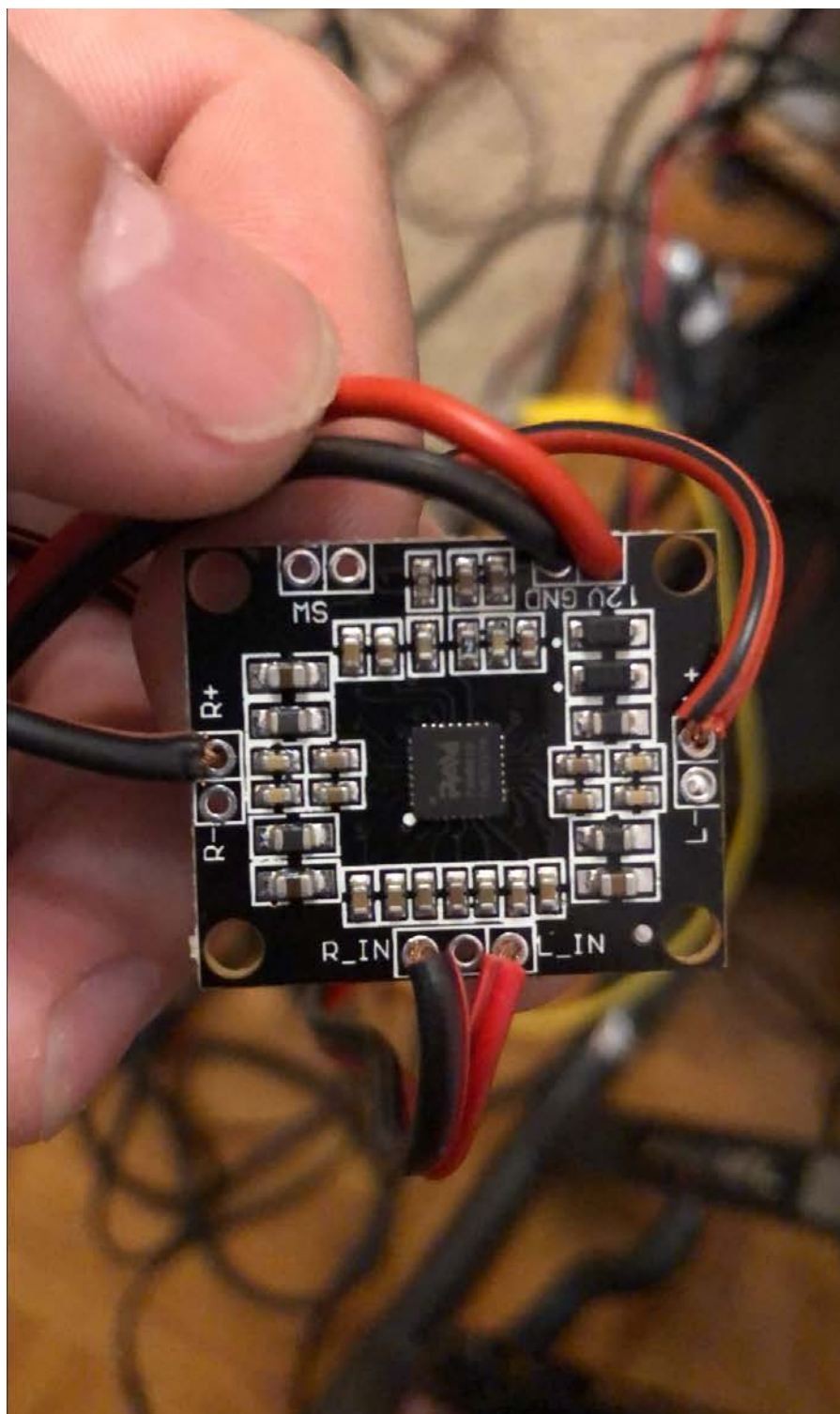


Slika 23: Mikseta stražnja strana, vlastiti izvor



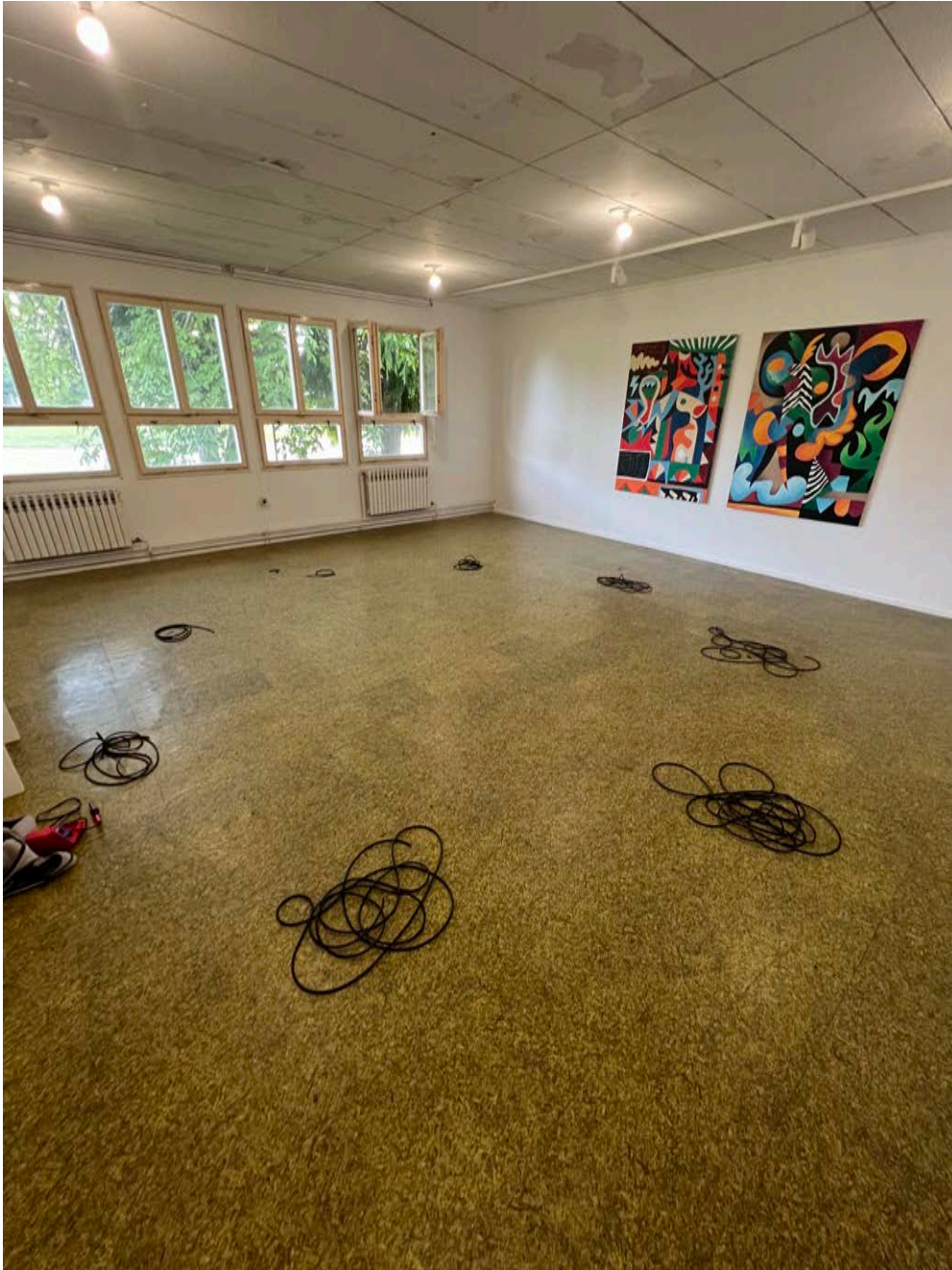
Slika 24: Mikseta prednja strana, vlastiti izvor

Svaki zvučnik koji izlazi iz miksete, spojen je na digitalno pojačalo kako bi se pojačao njegov zvuk. Piezo mikrofoni i zvučnici nalaze se unutar kutija, sakriveni.

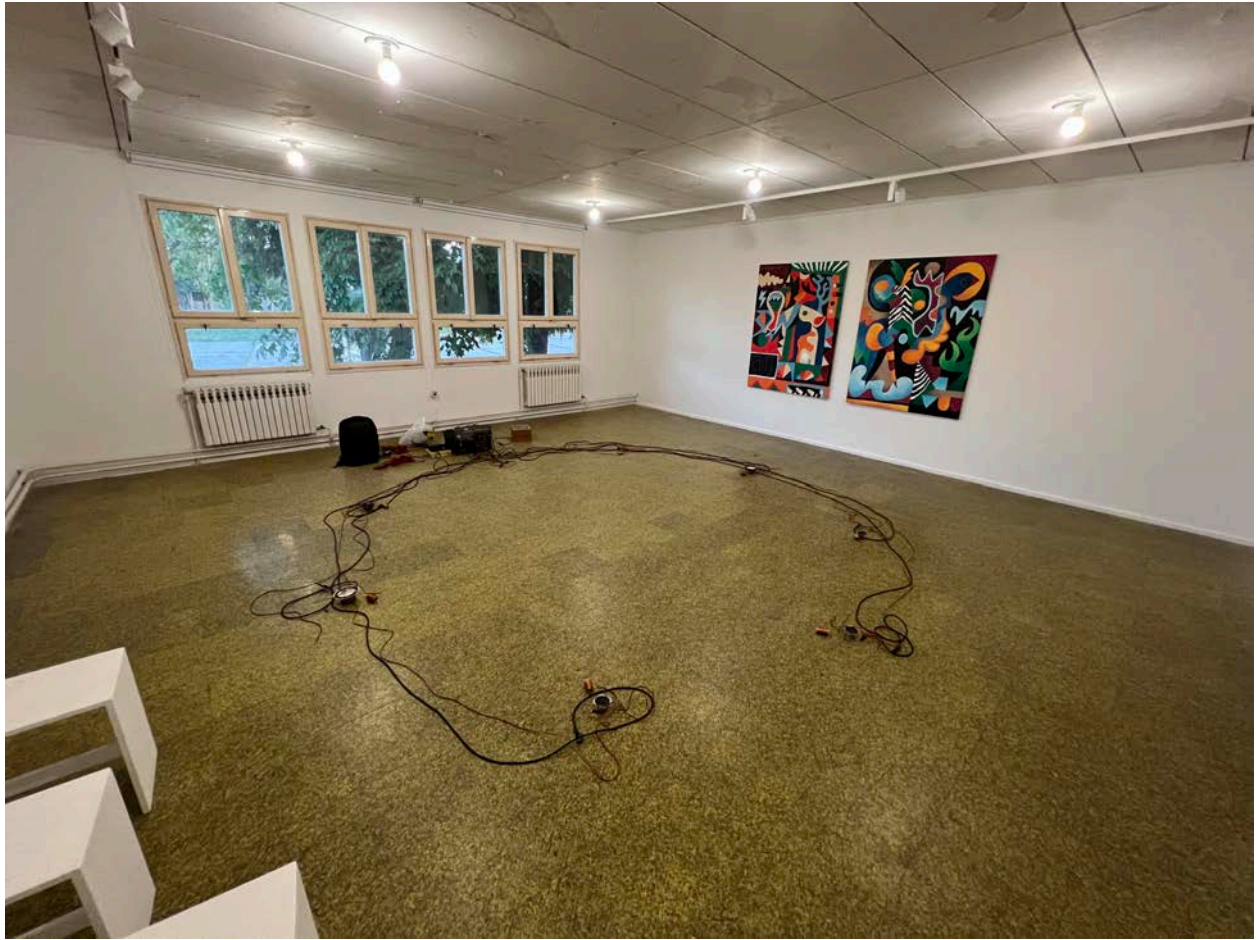


*Slika 25: Digitalno pojačalo, vlastiti izvor*

Kada sam napravio tehnički dio slijedilo je postavljanje zvučne instalacije u prostoru. Nakon što je sve postavljeno izveo sam par proba.



*Slika 26: Proces postavljanja instalacije, vlastiti izvor*



*Slika 27: Proces postavljanja instalacije, vlastiti izvor*



*Slika 28: Materijali korišteni u instalaciji (zavojnica, mikrofon, zvučnik i digitalni modul),  
vlastiti izvor*

## 10. Izvedba zvučne kompozicije

Izvedbu kontroliram putem laptopa i osam tipki kako je već prije i spomenuto. Na prvom i petom kanalu nalazi se zvuk frekvencije 60 Hz, drugom i šestom 124 Hz, trećem i sedmom 230 Hz i nakraju na četvrtom i osmom 360 Hz. Nakon što su zvukovi pušteni, kroz zavojnice prolazi struja (zvuk) i vilice počinju rezonirati. Trenutno se u prostoriji čuje zvuk ali relativno tih. U trenutku kada želim promijeniti njihov intenzitet, na mikseti postepeno pojačavam kanale, odnosno zvučnike koji emitiraju i hvataju zvuk rezoniranja i time kontroliram ugođaj u prostoriji. Kroz kompoziciju se protežu zvukovi koji nakon nekog vremena počinju prodirati kroz tijelo. Zvuk se počinje kretati u krug i zbog odbijanja zvukova od zidova, gubi se ravnoteža i spoznaja iz koje kutije proizlazi koji zvuk. Izvedba samog rada traje 15-ak minuta, ali zbog prirode jednoličnih zvukova čini se da traje puno dulje. Rad nije zamišljen da se izvodi s prethodnom definiranom kompozicijom već se prati atmosfera publike koja se nalazi u krugu.

## 11. Zaključak

Kroz pola godine istraživanja i pronalaženja načina kako dobiti zvuk iz fizičkog predmeta bez da ga se uopće dodiruje, naučio sam mnogo. Shvatio sam što zvuk predstavlja meni osobno, ali i koliko je važan u našim životima. Zvuk nije samo čujna pojava, već energija koja upravlja našom svakodnevicom. On se može vizualizirati, osjetiti i čuti. Proces u kojem sam najviše uživao bilo je spajanje svih potrebnih dijelova, dok je najveći izazov bio nabavka opreme koja je međusobno kompatibilna. Od samog početka do kraja mnogo se toga promijenilo, ponajprije uređaji koji su pomogli u proizvodnji zvuka. Iako u početku nisam planirao koristiti toliko digitalne tehnologije, rad je to zahtijevao. Od pročišćene ideje postava, nakupilo se mnogo žica i vanjskih elemenata poput digitalnog modula (pojačala), snimanja zvuka pomoću piezo mikrofona, miksete i ostalog. Ipak, konačni rezultat djeluje pročišćeno i jednostavno. Za samu izvedbu odlučio sam eksperimentirati, bez prethodno pripremljene zvučne kompozicije. Kroz istraživanje zvukova i njihovih karakteristika uživao sam, ali je, s druge strane, bilo prilično nelagodno provoditi sate u prostoriji slušajući različite frekvencije. Naravno, to je i bila poanta rada – promišljanje o zvukovima, prostoru i svakodnevnom životu dok nam konstantno odzvanjaju čiste sinusne frekvencije. S ovim radom postigao sam svoj cilj i veselim se stvaranju sljedećeg postava, izložbe ili performansa.



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, Denis Jakopi (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Induciranje magnetskog polja - zvuč bez dodira (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

\_\_\_\_\_  
(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, Denis Jakopi (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Induciranje magnetskog polja - zvuč bez dodira (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

\_\_\_\_\_  
(vlastoručni potpis)



## Literatura

- [1] <https://enciklopedija.hr/clanak/zvuk>.
- [2] A. Jurković. [Mrežno]. Available:  
<https://repozitorij.ffzg.unizg.hr/islandora/object/ffzg%3A4007/datastream/PDF/view>.
- [3] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079610706000848>.
- [4] J. L. W. (. U. a. I. I. H. S. O. M. E. C. (. A. A. C. S. B. H. h.-3.-6.-7.-8. Pye.
- [5] <https://bioacoustics.info/>.
- [6] <https://americanhistory.si.edu/science/tuningfork.htm>.
- [7] <https://www.whipplemuseum.cam.ac.uk/explore-whipple-collections/acoustics/historical-notes-brief-chronicle-tuning-fork>.
- [8] <https://drummbles.com/history-of-tuning-forks/>.
- [9] <https://www.enteducationswansea.org/tuning-fork-tests>.
- [10] <https://www.physicsclassroom.com/Class/sound/U1115a.cfm>.
- [11] <https://www.soundmedicineacademy.com/pages/sound-healing-blog/tuning-forks>.
- [12] <http://large.stanford.edu/courses/2007/ph210/scodary2/>.
- [13] <https://dokumen.pub/the-physics-of-music-and-color-2nbsped-978-3-030-19219-8.html>.
- [14] <https://www.ancient-origins.net/myths-legends-africa/sacred-and-magical-sistrum-ancient-egypt-002004>.
- [15] <https://www.ayurvedainstitute.co.uk/sounds-and-music-in-ayurvedic-healing-everything-you-need-to-know/>.
- [16] <https://sententiaeantiquae.com/2017/06/14/healing-music-pythagorias-therapeutic-songs/>.
- [17] <https://bellsofbliss.com/blogs/good-to-know/sound-healing-with-singing-bowls>.

- [18] <https://ecoyogastore.com/blogs/journal/sound-therapy-and-tibetan-singing-bowls>.
- [19] <https://www.flexity.hr/blog-joga/terapeutski-tuneri-i-jedinstvena-zvucna-terapija/>.
- [20] <https://robert.com.hr/povijest-uporabe-glazbenih-vilica/>.
- [21] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK526135/>.
- [22] <https://hemed.hr/Default.aspx?sid=18269>.
- [23] <https://www.scribd.com/document/487578248/musical-acoustics-pdf>.
- [24] <https://dokumen.pub/acoustics-an-introduction-to-its-physical-principles-and-applications-3nbsped-978-3-030-11213-4-978-3-030-11214-1.html>.
- [25] [https://monoskop.org/images/7/78/Jenny\\_Hans\\_Cymatics\\_A\\_Study\\_of\\_Wave\\_Phenomena\\_and\\_Vibration.pdf](https://monoskop.org/images/7/78/Jenny_Hans_Cymatics_A_Study_of_Wave_Phenomena_and_Vibration.pdf).
- [26] <https://www.ryojiikeda.com/project/cyclo/>.
- [27] <https://www.ryojiikeda.com/project/testpattern/>.
- [28] <http://www.ifs.hr/tehnologija/>.
- [29] <https://www.sciencedirect.com/topics/physics-and-astronomy/laser-interferometry>.
- [30] <https://earthlymission.com/singing-sand-dunes-desert-eerie-music-science-explanation/>.
- [31] <https://www.tate.org.uk/tate-etc/issue-3-spring-2005/art-noise>.
- [32] <https://archive.org/details/audiocultureread0000unse>.
- [33] <https://www.classical-music.com/features/works/what-is-the-point-of-john-cage-433>.
- [34] <https://zimoun.net/>.
- [35] <https://www.stirworld.com/see-features-swiss-artist-zimoun-shows-us-a-new-way-to-experience-sound>.
- [36] <https://flypaper.soundfly.com/discover/what-is-an-aeolian-harp/>.

- [37] <https://www.laphil.com/about/watch-and-listen/building-an-icon-the-story-of-walt-disney-concert-hall>.
- [38] <https://rome.us/the-vatican-city/st-peters-basilica.html>.
- [39] <https://www.vertigo.dk/the-wave>.
- [40] <https://nikoo.eu/ad/morske-orgulje-zadar/>.
- [41] <https://edge.tech/buildings/the-edge>.
- [42] I. “. M. A. G. h. Marušić Klif.
- [43] <https://www.scribd.com/document/487578248/musical-acoustics-pdf>.

## Popis slika

Slika 1: Osciloskop - elektronski mjerni uređaj koji omogućava promatranje međusobne ovisnosti dva signala na fluorescentnom zaslonu katodne cijevi, pristupljeno 8.9.2024.....	16
Slika 2: Prikaz zvučnih valova različitih frekvencija, pristupljeno 8.9.2024. ....	17
Slika 3: Tuning fork - Zvučna vilica, pristupljeno 8.9.2024. ....	20
Slika 4: Benjamin Franklin, staklena harfa, pristupljeno 8.9.2024 .....	29
Slika 5: Chladnijevi uzorci na pijesku, pristupljeno 8.9.2024.....	30
Slika 6: Carsten Nicolai i Ryoji Ikeda, pristupljeno 8.9.2024.....	32
Slika 7:Ryoji Ikeda: "For me, there's no separation between sound and visuals", pristupljeno 8.9.2024. ....	33
Slika 8: Singing sand, pristupljeno 8.9.2024. ....	35
Slika 9: Manifest, Luigi Russolo - L'arte dei rumori, pristupljeno 8.9.2024.....	37
Slika 10: Museum of Contemporary Art MAC Santiago de Chile, 2019, pristupljeno 8.9.2024. ....	38
Slika 11: Kinetic rescanning, 2013. pristupljeno 8.9.2024.....	39
Slika 12: Aeolian Harp, pristupljeno 8.9.2024. ....	42
Slika 13: The Wave, Copenhagen, pristupljeno 8.9.2024. ....	44
Slika 14: Morske orgulje, Zadar, pristupljeno 8.9.2024. ....	45
Slika 15: The Edge, Amsterdam, pristupljeno 8.9.2024.....	46
Slika 16: Sučelje Ableton 12 programa, pristupljeno 8.9.2024.....	49
Slika 17: Zvučna kartica, stražnja strana, pristupljeno 8.9.2024.....	49
Slika 18: Zvučna kartica, prednja strana, pristupljeno 8.9.2024. ....	49
Slika 19: Audio pojačalo, pristupljeno 8.9.2024. ....	50
Slika 20: Zavojnica, pristupljeno 8.9.2024.....	51
Slika 21: Skica rada, vlastiti izvor .....	52
Slika 23: Piezo mikrofon, pristupljeno 11.9.2024. ....	54
Slika 24: Mikseta stražnja strana, vlastiti izvor .....	55
Slika 25: Mikseta prednja strana, vlastiti izvor .....	55
Slika 26: Digitalno pojačalo, vlastiti izvor .....	56
Slika 27: Proces postavljanja instalacije, vlastiti izvor.....	57
Slika 28: Proces postavljanja instalacije, vlastiti izvor.....	58
Slika 29: Materijali korišteni u instalaciji (zavojnica, mikrofon, zvučnik i digitalni modul), .....	59