

Metode i kvaliteta reprodukcije snimljene glazbe

Fridrich, Silvestar

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Academy of Music / Sveučilište u Zagrebu, Muzička akademija**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:116:483391>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-13**



Repository / Repozitorij:

[Academy of Music University of Zagreb Digital Repository - DRMA](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU MUZIČKA AKADEMIJA
VIII. ODSJEK ZA GLAZBENU PEDAGOGIJU I TAMBURE

SILVESTAR FRIDRICH
METODE I KVALITETA REPRODUKCIJE
SNIMLJENE GLAZBE

DIPLOMSKI RAD



ZAGREB, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU MUZIČKA AKADEMIJA
VIII. ODSJEK ZA GLAZBENU PEDAGOGIJU I TAMBURE

METODE I KVALITETA REPRODUKCIJE SNIMLJENE GLAZBE

DIPLOMSKI RAD

Mentor: prof. dr. sc. Kristian Jambrošić

Student: Silvestar Fridrich

Ak.god. 2022/2023.

ZAGREB, 2023.

DIPLOMSKI RAD ODOBRILO MENTOR

prof. dr. sc. Kristian Jambrošić

Potpis

U Zagrebu, 24.10.2023. godine

Diplomski rad obranjen _____ s ocjenom _____.

POVJERENSTVO:

1. _____

2. _____

3. _____

OPASKA:

PAPIRNATA KOPIJA RADA DOSTAVLJENA JE ZA POHRANU
KNJIŽNICI MUZIČKE AKADEMIJE SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

SAŽETAK

Ovaj diplomski rad bavi se metodama i uređajima za reprodukciju snimljene glazbe te njihovim tehničkim i akustičkim kvalitetama i mogućnostima. U radu se analizira pojam snimljene glazbe, u kojem smjeru je tekao njezin povijesni razvitak i koje metode su korištene za samo snimanje glazbe. Snimljena glazba reproducira se putem uređaja specijaliziranih za reprodukciju zvuka pa tako i glazbe. U radu se kroz povijesni aspekt proučavaju razne metode i uređaji za snimanje i reprodukciju glazbe te kako njihova različitost izgleda i zvuči u praksi. Zaključno, provodi se kratko anketiranje o preferencijama i prirodnosti izvora zvuka.

Ključne riječi: akustika, izvori zvuka, kvaliteta reprodukcije glazbe, metode reprodukcije glazbe, mikrofoni, snimljena glazba, uređaji za reprodukciju glazbe, uređaji za snimanje glazbe.

SUMMARY

This graduate thesis deals with methods and devices for the reproduction of recorded music and their technical and acoustic qualities and capabilities. The paper analyzes the concept of recorded music, the direction of its historical development, and the methods used for music recording itself. Recorded music is reproduced through devices specialized in sound and music reproduction. The study explores various methods and devices for music recording and music reproduction from a historical perspective, as well as how their diversity appears and sounds in practice. In conclusion, a short survey is conducted about preferences and the naturalness of sound sources.

Keywords: acoustics, microphones, music playback devices, music recording devices, music reproduction methods, music reproduction quality, recorded music, sound sources.

SADRŽAJ:

1. UVOD.....	1
2. SNIMLJENA GLAZBA.....	2
2.1. Povijest i razvoj snimanja i pohranjivanja zvuka i glazbe.....	2
2.2. Povijest i razvoj metoda za snimanje glazbe.....	5
2.3. Mikrofoni.....	9
2.3.1. Mikrofoni i njihove karakteristike.....	9
2.3.2. Tipovi mikrofona.....	14
3. IZVOR ZVUKA.....	22
4. ZVUČNICI.....	24
4.1. Povijesni razvoj zvučnika.....	24
4.2. Zvučnici i njihove posebnosti.....	27
4.3. Karakteristike zvučnika.....	29
4.4. Podjela zvučnika prema načinu rada.....	32
4.5. Podjela zvučnika prema zvučničkim kutijama.....	35
5. SLUŠALICE.....	37
5.1. Povijesni razvoj slušalica.....	37
5.2. Slušalice i njihove značajke.....	39
5.3. Tipovi slušalica i njihova namjena.....	43
6. ZAKLJUČAK.....	47
7. BIBLIOGRAFIJA.....	48

POPIS SLIKA

Slika 1: Prijenos frekvencijski opseg – Shure SM57 dinamički mikrofon,

<https://pubs.shure.com/guide/SM57/en-US> (Pristup 23.09.2023.)

Slika 2: Dinamički mikrofon s titrajnom zavojnicom,

<https://www.teachmeaudio.com/recording/microphones/dynamic-microphone>

(Pristup: 06.09.2023.)

Slika 3: Dinamički mikrofon s vrpcom, <https://www.sweetwater.com/store/detail/R121--royer-r-121-ribbon-microphone> (Pristup: 25.09.2023.)

Slika 4: Kondenzatorski mikrofon, <https://musicshop.hr/hr/7154-mikrofon-audio-technica-2020-cond.html> (Pristup: 25.09.2023.)

Slika 5: Dinamički zvučnici,

<https://www.krkmusic.com/ROKIT-Powered-G4-Studio-Monitors> (Pristup: 10.10.2023.)

Slika 6: In-ear slušalice,

<https://mi.hr/mi-in-ear-headphones-basic> (Pristup: 09.10.2023.)

Slika 7: On-ear slušalice,

<https://www.beatsbydre.com/headphones/solo3-wireless> (Pristup: 09.10.2023.)

Slika 8: Over-ear slušalice, <https://www.soundguys.com/best-over-ear-headphones-18379/> (Pristup: 09.10.2023.)

1. UVOD

Gledajući natrag kroz 19. i 20. stoljeće, vrijeme je to koje označava enormni tehnološki razvoj. Pojavljuju se mnogi izumi bez kojih današnje društvo ne bi moglo funkcionirati. Cijeli taj tehnološki napredak ostavlja traga i u sferi glazbe. Uz dotad klasične instrumente pojavljuju se električni instrumenti, a daljnjim razvojem tehnologije omogućeno je kreiranje glazbe bez upotrebe instrumenata, putem specijaliziranih računalnih aplikacija. Pojavljuju se i prvi uređaji za snimanje glazbe te shodno tome i uređaji za samu reprodukciju te snimljene glazbe. Razvojem svih tih aspekata glazba je dobila svoj veliki značaj u svakodnevnom životu. Današnji čovjek sa glazbom se susreće na svakom koraku, ali najčešće ne obraćajući pažnju na to kako je nastala snimka ili kojim putem ta glazba dolazi do ljudskog uha.

U mlađoj životnoj dobi imao sam mogućnost da se do neke točke upoznam s određenim uređajima, kako za snimanje tako i za reprodukciju glazbe. Razni mikrofoni i slušalice jedno vrijeme su mi predstavljali veliku zanimaciju. Susret s takvim uređajima doveo je do upoznavanja sa snimanjem glazbe, do konkretnijeg opažanja razlike u zvuku za vrijeme slušanja i obrađivanja samog zvuka. Njihove raznolike mogućnosti na neki način su me zainteresirale i uvele u svijet glazbe. Kroz cijelo moje školovanje taj aspekt glazbe mi je uvijek bio nekako bliži i zanimljiviji pa sam stoga i odabrao pisati o ovoj temi. S druge strane, želio sam se i sam više upoznati s određenim funkcijama i karakteristikama raznih uređaja jer sam laički primjećivao razlike, ali nisam baš bio niti upoznat niti obraćao previše pažnje oko konkretnih karakteristika i značajki pri odabiru i pregledu samih uređaja za snimanje i reprodukciju zvuka. Nastavno na to, odlučio sam pisati o metodama i kvaliteti reprodukcije snimljene glazbe. Rad započinje uvodnim poglavljem koje polagano određuje smjer razlog izbora teme samog rada. U drugom poglavlju govorit će se o tome kako glazba nastaje i na koji način i kojim uređajima je možemo snimiti, a koje su i moguće razlike pri samom snimanju. Kako bi snimljenu glazbu reproducirali potreban nam je izvor zvuka o kojem će se u teorijskom aspektu govoriti u trećem poglavlju. Završno, u četvrtom i petom poglavlju govorit će se o uređajima za reprodukciju glazbe, konkretno o zvučnicima i slušalicama, s kojim se tipovima zvučnika i slušalica susrećemo u svijetu glazbe i koje su razlike među njima.

2. SNIMLJENA GLAZBA

Snimljena glazba referira se na zvučne zapise glazbenih izvedbi koje su snimljene i pohranjene obično na fizičkim medijima poput vinila, CD-a i kazeta ili u digitalnim formatima poput MP3 datoteka, na *streaming*¹ platformama i drugim digitalnim audio formatima. Zapisi snimljene glazbe nastaju korištenjem različitih tehnologija snimanja zvuka koje bilježe zvuk kojeg proizvode glazbenici na instrumentima ili drugi izvori zvuka tijekom izvedbe uživo ili studijskog snimanja.

Proces snimanja glazbe započinje upotrebom mikrofona koji bilježi zvučne valove koji se zatim pretvaraju u električne signale. Električni signali se potom obrađuju, miješaju i pohranjuju u nekom formatu koji se može reproducirati na uređajima za reprodukciju glazbe, kao što su gramofoni ili putem digitalnih glazbenih uređaja i aplikacija.²

Snimanje glazbe u potpunosti je promijenilo način na koji se glazba distribuira i konzumira. Glazbenicima je omogućeno dijeljenje njihove glazbe s publikom u globalnim razmjerima, a slušateljima je pružena mogućnost upoznavanja s bogatim opusom raznih glazbenika, a tako i raznih žanrova glazbe. Razvoj tehnologije snimanja potakao je i razvoj glazbenih stilova na način da je glazbenicima omogućeno eksperimentiranje s novim zvukovima i tehnikama u izvedbama uživo ili u studiju. Tehnološki napredak snimanja glazbe doveo je do povećane dostupnosti i praktičnosti glazbe čime je snimljenu glazbu stavila u centar glazbene industrije i kulture.

2.1. Povijest i razvoj snimanja i pohranjivanja zvuka i glazbe

Davne 1857. godine Édouard-Léon Scott de Martinville, koji je po zanimanju bio prodavač knjiga, izumio je fonograf, prvi uređaj koji je mogao snimati zvuk, ali ne i reproducirati ga. Bio je građen od megafona ili trube, zajedno s tankom membranom preko rubova. Pokreti membrane koji su odgovarali vibracijama zvučnih valova stvarali su ureze na cilindru. Glasniji zvukovi rezultirali su dubljim urezima (veća amplituda), dok

¹ *Streaming* je tehnologija prijenosa zvuka i slike putem računalnih mreža.

² <https://www.britannica.com/technology/sound-recording> Pristup: 03.09.2023.

su viši zvukovi stvarali uži razmak između ureza (veća frekvencija).³ Početak razvoja ove tehnologije označilo je veliki napredak čovječanstva jer je omogućila prvu razumljivu snimku ljudskog glasa, a riječ je o obradi francuske pjesme *Au Clair de la Lune*⁴ iz 1860. godine.⁵ Stoga je 1877. godine Thomas Alva Edison izumio fonograf kojim je zabilježeno prvo snimanje i reprodukcija ljudskog glasa.⁶ Kasnije ga je 1880-ih godina poboljšao Alexander Graham Bell koji je izumio grafofon. Bio je relativno sličan, ali je omogućavao snimanja veće dužine i bio je lakši za korištenje.⁷ Kasnije je 1890-ih godina poboljšan prelaskom s cilindara na vinilne diskove kakve poznajemo i dan danas. Tako je započela akustička era.

Akustička era trajala je od 1890-ih godina do 1925. godine. Bilo je to prvo doba audio snimanja koje pretežno definira korištenje potpuno mehaničkih uređaja, bez upotrebe mikrofona ili električnog pojačanja. Tijekom tog doba umjetnici bi nastupali ispred metalnog roga koji je zvučne valove usmjeravao prema membrani na kraju roga. Energija tih zvučnih valova uzrokovala je titranje membrane, što je uzrokovalo urezivanje zvučnih valova u vosak, rotirajući cilindar ili disk putem pričvršćene igle. Razvojno je to bila zadnja etapa u akustičkoj eri. Kako nije bilo načina za montiranje snimke, kada bi umjetnici željeli nešto promijeniti u svojoj snimci, morali bi ponovno snimati i promijeniti svoju poziciju kako bi bili glasnjiji ili tiši i spriječili pojavu distorzije. Da bi se snimka preslušala, morao se koristiti uređaj koji se zove zvučna kutija. Čelična igla bila je vezana za omotanu membranu koja je bila pričvršćena na suženu cijev poznatu kao tonska ručica. Iгла koja prelazi preko cilindra ili diska uzrokovala je titranje membrane i stvarala zvučne valove koji su se prenosili kroz ručicu. Nedostatak i ograničenje ondašnje opreme bio je uzak raspon zvučnog spektra, od otprilike 250 Hz do 2500 Hz. Zbog ovog ograničenja glazbenici su preferirali glasnije instrumente kao što su truba, trombon, tuba i bas.⁸

Dolaskom 1925. godine došlo je vrijeme za električnu eru. Započela je zahvaljujući izumu električnog mikrofona, pojačivača signala i elektromehaničkih snimača. Zvuk se

³ <http://mz.nsk.hr/zbirka78/o-fonografiji/edison-bell-penkala/> Pristup: 06.09.2023.

⁴ *Au Clair de la Lune* – Na mjeseci

⁵ <https://www.firstsounds.org/sounds/scott.php> Pristup: 06.09.2023.

⁶ <https://www.britannica.com/topic/music-recording/The-development-of-musical-recording> Pristup: 06.09.2023.

⁷ <http://www.edubilla.com/invention/graphophone/> Pristup: 06.09.2023.

⁸ <https://www.loc.gov/collections/national-jukebox/articles-and-essays/acoustical-recording/> Pristup: 07.09.2023.

mogao elektronički pojačati, filtrirati i balansirati. Proces snimanja ostao je mehanički, zvučni valovi još uvijek su bili fizički upisivani u disk izrađen od voska. Potom su se potrošački diskovi masovno počeli proizvoditi utiskivanjem metalnog elektrofona napravljenog od voska, a bili su na bazi polivinil plastike. Tvrtka *Western Electric*⁹ drastično je promijenila industriju snimanja zvuka. Vjernost snimanja znatno je poboljšana, raspon zvučnog spektra postao je mnogo širi, od 60Hz do 6000Hz, što je omogućilo potpuniji i bogatiji zvuk. Izumljeni su električni mikrofoni i pojačala koji su glazbenicima omogućili jednostavnije snimanje glasova i instrumenata, posebno instrumenata poput gitare i basa. Instrumenti su se mogli čuti na jednakoj razini kao i pjevač.¹⁰ U 1930-ima, filmska industrija je također počela koristiti tehnologiju zvuka. Zvuk se snimao kako bi podešavao izvor svjetlosti koji je bio prikazan na filmu u pokretu kroz uski prorez, omogućavajući da se fotografira kao varijacije gustoće ili širine zvučne staze koji prolazi duž posebnog dijela filma. Projektor je koristio kao i obično svjetlo u fotonaponskoj ćeliji kako bi pretvorio varijacije natrag u električni signal, koji je pojačan i poslan zvučnicima iza ekrana.

Magnetska era započela je 1945. godine. Iako je tehnologija snimanja magnetske vrpce postojala i ranije, Nijemci su je otkrili tek nakon Drugog svjetskog rata.¹¹ Otkrićem magnetske vrpce napravljen je još jedan veliki skok u vjernosti zvučne snimke. Snimke na magnetskoj vrpici nastajale su pretvaranjem električnih zvučnih signala u magnetsku energiju, što je rezultiralo utiskivanjem zapisa na pokretnu vrpcu prekrivenu magnetskim česticama. Reproduciranje i pojačavanje zvuka zahtijevalo je pretvaranje snimke na vrpici natrag u električnu energiju. Od 1950. godine magnetska vrpca bila je široko korištena kao standardni medij za snimanje u radijskoj i glazbenoj industriji. Otvorio se niz novih mogućnosti koje su se mogle postići ovom tehnologijom. Najznačajnija karakteristika je bila mogućnost manipuliranja, uređivanja i kombiniranja na načine koji su bili nemogući s diskovima i snimkama na vinilu. Magnetska era stvorila je i nama dan danas poznate tehnološke izume poput VHS-a i kasete.¹²

⁹ <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=66042> Pristup: 07.09.2023.

¹⁰ <https://historyofrecordingblog.wordpress.com/24-2/> Pristup: 07.09.2023.

¹¹ <https://time.graphics/period/1367189> Pristup: 07.09.2023.

¹² <https://www.britannica.com/technology/magnetic-recording> Pristup: 07.09.2023.

U trenutnu eru snimanja zvuka i glazbe, digitalnu eru, ulazimo 1975. godine, era koja se od svih najbrže razvijala. U razdoblju manjem od 20 godina, sve prethodne tehnologije snimanja brzo su zamijenjene digitalnim zvukom i programiranjem. Digitalne snimke bilježe zvuk pomoću vrlo gustog i brzog niza diskretnih uzoraka zvuka. Pri reprodukciji, uzorci zvuka kombinirajući se stvaraju kontinuirani tok zvuka. Prvi potpuno digitalno snimljen album popularne glazbe album Rya Croodera, pod nazivom *Bop Till You Drop*, objavljen je 1979. godine.¹³ Od tog trenutka digitalno snimanje zvuka postalo je novi standard za snimanje. 1982. godine izumljen je kompaktni disk ili CD koji su bili potpuna suprotnost vinilnim pločama. Bili su mali, prenosivi, izdržljivi i mogli su reproducirati cijeli čujni zvučni spektar sa savršenom jasnoćom bez izobličenja. Sastavljen je od sloja polikarbonantnog diska koji ima kodirane podatke. Zatim je krajem 20. stoljeća izumljena digitalna audio datoteka, MP3, WAV i još mnogo toga. Digitalni zvuk postao je dominantan i doveo do svijeta u kojem danas živimo. U početku, uz iTunes, iPod, Walkman, MP3 *player*, sve je postalo puno jednostavnije. Glazba je postala prijenosna, mogli ste je „ponijeti“ sa sobom i slušati na poslu i školi.¹⁴ U današnje vrijeme, glavni izvor preko kojeg ljudi dolaze do glazbe su *streaming* servisi kao što su *Spotify*, *Deezer* i *Apple Music*, koji glazbu mogu reproducirati izravno s mobilnog telefona.

2.2. Povijest i razvoj metoda za snimanje glazbe

Budući da ljudski glas ima svoja ograničenja u vidu glasnoće, pojavila se potreba za povećanjem glasnoće, posebice u situacijama kada se govori pred velikim brojem ljudi. Najraniji uređaji korišteni za postizanje toga bili su primitivni, akustični megafoni. Prvi primjerci toga mogu se naći na grčkim kazališnim maskama s otvorima za usta u obliku roga. Njihov način rada povećavao je akustičnu impedanciju glasnica, usklađujući ih sa zrakom i stvarajući snažniji i usmjereniji zvučni val.¹⁵ Sljedeći zanimljiv i bitan izum vezan za svijet mikrofona bio je „telefon ljubavnika“ koji se sačinjavao od dvije akustične

¹³ <https://recording-history.org/history-of-digital-recording/> Pristup: 07.09.2023.

¹⁴ <https://historyofrecordingblog.wordpress.com/the-digital-era/> Pristup: 07.09.2023.

¹⁵ <https://www.audiovisual.ie/history-science-microphone/> Pristup: 09.09.2023.

konzerve međusobno povezane strunom ili žicom. Zvuk koji išao od jedne do druge limenke prenosio se mehaničkim vibracijama.¹⁶

Ono što je stvarno pokrenulo razvoj mikrofona kakve danas poznajemo bio je izum ugljenog ili karbonskog mikrofona kojeg su 1870-ih godina razvili David Edward Hughes u Engleskoj, kao i Emil Berliner i Thomas Alva Edison u Sjedinjenim Američkim Državama, a za kojeg je Thomas Alva Edison tek 1892. dobio patent nakon dugog pravnog spora. Napravljen je od dvije metalne ploče koje su bile odvojene malim česticama ugljika. Napon je prolazio kroz metalnu ploču, što je uzrokovalo protok struje manje jakosti kroz ugljik. Jedna od metalnih ploča napravljena je tako da bude vrlo tanka i služi kao membrana mikrofona koja bi pri udaru zvučnih valova počela titrati. Razlika u amplitudi i promjenjivi pritisak na čestice ugljika nabijali su metalne ploče koji imaju svoj električni otpor, stvarajući električni signal. Kasnije, 1886. godine, Thomas Alva Edison doradio je dizajn s kojim je mikrofon imao izgleda ugljenog gumba.¹⁷ Jedan od ključnih problema s ugljenim mikrofonima bio je taj što nije hvatao vrlo širok raspon frekvencija i stvarao je mnogo šuma. Ugljeni mikrofon nije bio najprecizniji, ali je radio dovoljno dobro za ono što je tada bila potreba, a to je prijenos ljudskog govora. Kao prva vrsta mikrofona utkali su i put prema nastanku telefona.¹⁸ Korišten je i za prvi radijski prijenos, a to je bila izvedba u metropolitanskoj opernoj kući u New Yorku 1910. godine.¹⁹

Sljedeći veliki napredak u dizajnu i tehnologiji mikrofona dogodio se 1916. godine kada je Edward Christopher Wente iz *Western Electric* kompanije razvio kondenzatorski mikrofon. Membrana kondenzatorskih mikrofona djeluje kao jedan od ploča kondenzatora te vibracije zvuka uzrokuju promjene u udaljenosti između ploča. Kako bi normalno funkcionirali, kondenzatorskim mikrofonima trebao je vanjski izvor napajanja koji je dolazio u obliku manje baterije ili onoga što danas imamo, a to je fantomsko napajanje od 48 volta (Ashbourn, 2021). Kako su postojali razne inačice kondenzatorskog mikrofona, tako je i njihova namjena široka, od jeftinijih mikrofona za karaoke do

¹⁶ <https://www.stgregoryschool.co.uk/wp-content/uploads/2021/02/Oak-26.2.21-Acoustic-Telephone.pdf> Pristup: 09.09.2023.

¹⁷ <https://mynewmicrophone.com/mic-history-who-invented-each-type-of-microphone-and-when/> Pristup: 11.09.2023.

¹⁸ <https://soundbridge.io/carbon-microphones/> Pristup: 11.09.2023.

¹⁹ <https://ethos3.com/the-history-of-the-microphone/> Pristup: 11.09.2023.

vrhunskih mikrofona za precizno snimanje glazbe. Njihova naslijeđena prednost je ta što, budući da se napajaju izvana, mogu snimiti zvuk vrlo visoke vjernosti, za razliku od dinamičkih mikrofona ili mikrofona s vrpcom, gdje zvučni valovi obavljaju posao induciranja napona. Kondenzatorski mikrofoni zbog svojih specifikacija ne zahtijevaju da izvor koji snimaju bude jako glasan, a s druge strane hvataju daleko širu i detaljniju sliku sveg zvuka što se širi zrakom.²⁰

Prvi dinamički mikrofoni 1874. godine patentirao je čovjek po imenu Ernst Siemens, ali nikada nije zaživio jer su tada ugljeni mikrofoni bili najprikladniji za tehnologiju telefona, a bilo ih je i lakše proizvesti. Godine 1928. Edward Christopher Wente i Albert Thuras zajedničkim snagama razvijaju prvi komercijalni dinamički mikrofoni koji će 1931. godine biti objavljen pod imenom *Western Electric 618a Electro-Dynamic Transmitter*.²¹ Dinamički mikrofoni ne zahtijevaju baterije ili vanjsko napajanje, a zbog svoje jednostavne upotrebe i čvrstog kompaktnog kućišta ostao je u uporabi dugi niz godina. Dinamički mikrofoni rade na istom principu kao i zvučnik, ali u obrnutom smjeru. Mala pomična induksijska zavojnica smještena u magnetskom polju pričvršćena je na membranu. Kada zvučni valovi pogode tu membranu zavojnica u magnetskom polju počinje titrati proizvodeći izmjeničnu struju kroz elektromagnetsku indukciju.²² Za razliku od kondenzatorskih mikrofona, membrana dinamičkog mikrofona ne reagira jednako na sve frekvencije. Neki dinamički mikrofoni koriste višestruke membrane za hvatanje višestrukih dijelova zvučnog spektra i za kombiniranje dobivenih signala u zvučni profil tog mikrofona, a neki dinamički mikrofoni posebno su dizajnirani tako da su osjetljiviji na određeni dio zvučnog spektra u odnosu na druge.²³ *Shure Incorporated*, američka korporacija za audio proizvode, 1965. i 1966. godine izdala je dinamičke mikrofone SM-57, odnosno SM-58 koji postaju jedni od najpoznatijih mikrofona u povijesti, a globalno se koriste i dan danas, kako u studiju za snimanje tako i na nastupima uživo.²⁴ Ova dva navedena mikrofona ne samo da su imale izvrsno prigušenje izvora zvuka koji nije na glavnoj osi, već su imali i

²⁰ <https://www.audiotechnology.com/tutorials/condenser-microphones> Pristup: 11.09.2023.

²¹ <https://www.audiotechnology.com/tutorials/dynamic-microphones> Pristup: 11.09.2023.

²² <https://www.audio-technica.com/en-us/support/a-brief-guide-to-microphones-what-a-microphone-does/> Pristup: 11.09.2023.

²³ <https://www.shure.com/en-US/performance-production/louder/what-is-dualdyne-understanding-the-shure-ksm8> Pristup: 11.09.2023.

²⁴ <https://www.gear4music.com/blog/sm58-day/> Pristup: 11.09.2023.

vrlo prirodan zvučni potpis i blago pojačanje „dobre prisutnosti“, tj. pojačanje u frekvencijama između 4 i 6 kHz što ih je učinilo idealnim za snimanje jer se reducirao ulazak zvuka od drugih instrumenata. Ubrzo su postali glavni u svijetu nastupa uživo koji su tada u vrijeme izlaska tih mikrofona na tržište postajali sve popularniji i veći.²⁵

Posljednji od glavnih tipova mikrofona, mikrofoni s vrpcom, razvili su Walter Hans Schottky i Erwin Gerlach 1924. godine. U to vrijeme, to je bila velika promjena jer je njihov frekvencijski odziv bio puno širi od ranih dizajna kondenzatora.²⁶ Mikrofon s vrpcom obično se izrađuje koristeći tanje vodljive aluminijske membrane koja se postavlja između dva permanentna magneta. Zvuk koji dolazi pretvara se zatim u električni signal putem elektromagnetske indukcije. Zbog ovakvog dizajna, mikrofoni s vrpcom gotovo su uvijek dvosmjerni što znači da prikupljaju zvuk i na prednjoj i na stražnjoj strani mikrofona. Poznati su također po svojoj tamnijoj boji i vrlo glatkim i uglađenim tonovima višeg frekvencijskog raspona zbog čega se koriste u studijima diljem svijeta.²⁷ Specifični su po mogućnosti uglađivanja nekih oštrijih frekvencija žičanih instrumenata poput violine, ali također mogu cijeloj zvučnoj slici dati dosta topline i dubine. Mikrofone s vrpcom izrađivalo je mnogo različitih tvrtki te su 1930-ih godina prošli kroz nekoliko nadogradnji. *Beyerdynamic* predstavio je M160 mikrofoni koji je korišten za velik broj snimanja glazbe u tom razdoblju.²⁸ Najpoznatije ime koje se povezuje s mikrofoni s vrpcom modernijeg doba ime je Royera. David Royer dizajnirao je svoj prvi mikrofoni s vrpcom 1997. godine, poznati R-121 mikrofoni. Taj mikrofoni koristio je vrhunske neodijске magnete za proizvodnju mnogo jačeg magnetskog polja od tipičnih mikrofona s vrpcom koji su se koristili u to vrijeme, a koristili su *alnico* magnete. Royer je uz to integrirao izlazne transformatore u mikrofoni kako bi stvorio bolji omjer signala i šuma.²⁹

²⁵ <https://mynewmicrophone.com/what-does-presence-mean-in-terms-of-microphones/> Pristup: 11.09.2023.

²⁶ <https://www.thebroadcastbridge.com/content/entry/8667/ribbon-microphones-make-a-full-circle-in-audio-history> Pristup: 11.09.2023.

²⁷ <https://www.musicradar.com/how-to/explainers-how-a-ribbon-microphone-works> Pristup: 11.09.2023.

²⁸ <https://www.premierguitar.com/on-track-the-venerable-beyerdynamic-m-160-mic> Pristup: 11.09.2023.

²⁹ <https://royerlabs.com/r-121/> Pristup: 11.09.2023.

2.3. Mikrofoni

2.3.1. Mikrofoni i njihove karakteristike

Mikrofon je uređaj s kojim se svaki glazbenik susreće u nekoj fazi svoje glazbene karijere, bilo to na koncertima gdje se glazba izvodi uživo ili u studiju gdje se snimaju pjesme i stvaraju novi glazbeni hitovi. Današnja glazbena industrija nezamisliva je bez uređaja poput mikrofona te je njegov nastanak jedan od ključnih uzroka zašto je glazbena industrija na takvoj razini danas i zašto se glazba kao industrija toliko globalno proširila i postala bitan faktor svakidašnjeg života ljudi. Dojmljiva je ta činjenica da je mikrofon, uz naravno i ostala tehnološka dostignuća u sferi glazbe, zaslužan za to da glazbenik iz kutka svoje sobe može svoje kreativno nadahnuće, koje se izražava kroz glazbu, u tom istom trenutku snimiti i podijeliti svoju kreaciju s ostatkom čitavog svijeta vrlo jednostavno i u vrlo kratkom vremenskom razdoblju. Na koncu, čovjek je biće kojemu je jedna od ljudskih potreba komunikacija s drugim ljudima, a mikrofon, kao dio telefonskih uređaja, upravo je segment koji nam to omogućava i svakako olakšava.

Mikrofon je kao uređaj pretvornik, a definicija samog pretvornika je da pretvara jednu vrstu energiju u drugu. U ovom slučaju, mikrofon je pretvornik koji mehaničku energiju pobuđenu zvučnim valovima pretvara u električnu energiju. Kao što smo prethodno naveli, mikrofon u sferi glazbe korišten je na koncertima i izvedbama uživo kao uređaj koji pojačava zvuk pjevača ili instrumenta, a u studiju kao uređaj za snimanje glazbe. Osim glazbe, mikrofon koristimo pri telefonskoj komunikaciji, služi kao uređaj za akustičku analizu, a njime možemo izmjeriti i buku.

Kako se tehnologija u svim aspektima vremenom razvijala i otkrivala nove spoznaje, nastale su i mnoge vrste mikrofona od kojih se neki aktivno koriste još i dan danas. Iako su kroz povijest nastajali i korišteni mikrofoni poput ugljenih i kristalnih mikrofona, najpoznatiji tipovi mikrofona koje često možemo vidjeti na koncertima, u studijima ili na danas jako popularnim *podcastima*³⁰ su dinamički i kondenzatorski mikrofoni.

³⁰ Podcast – digitalna datoteka audio-vizualnog formata koja se sastoji od epizodnog niza kojoj korisnik ima pristup putem preuzimanja ili pretplate na pripadajućoj *streaming* platformi

Svaki tip mikrofona možemo često prepoznati po njegovom vanjskom izgledu, ali oni ključni parametri koje gledamo pri istraživanju i izboru tipa mikrofona njegove su karakteristike. U različitim situacijama njihova namjena također može biti različita tako da su karakteristike te koje nas usmjeravaju zašto bi baš taj mikrofon bio kompatibilan i potreban za situaciju u kojoj se glazbenik nalazi.

Ono što prvo čini razliku među tipovima mikrofona je vrsta pretvarača, odnosno kako i na koji način se vrši promjena signala i energije iz jedne u drugu vrstu. Za primjer, usporedit ćemo dvije vrste dinamičkih mikrofona, mikrofon s titrajnom zavojnicom i mikrofon s vrpcom, s kondenzatorskim mikrofonom. Kod dinamičkih mikrofona glavni element je titrajna zavojnica pričvršćena na membranu koja pretvara zvučne valove u električni signal putem elektromagnetske indukcije, dok se kod kondenzatorskih mikrofona pretvorba zvučnih valova u električni signal događa putem kretanja membrane u kapsuli temeljenoj na kondenzatoru fiksnog naboja i elektrostatičkih principa. Razlika kod mikrofona s titrajnom zavojnicom i mikrofona s vrpcom je u membrani, kod mikrofona s vrpcom, membrana ima oblik vrpce i izrađena je od vodljivog materijala i obično je valovita, dok je membrana mikrofona s titrajnom zavojnicom spojena sa samom titrajnom zavojnicom, nije izrađena od vodljivog materijala, okrugla je i relativno debela.

Jedna od bitnih karakteristika koja mikrofone čini različitim njihova je usmjerna karakteristika. Kod mikrofona, njegova usmjerna karakteristika predstavlja nam prikaz ovisnosti osjetljivosti mikrofona o smjeru dolaska zvuka, to jest, govori nam u kojem će smjeru mikrofon biti osjetljiv i hvatati zvuk, ali i u kojem smjeru će mikrofon imati manji izlazni napon za signal istog intenziteta. Nailazimo na četiri različite vrste usmjernih karakteristika, a to su kardioidna, hiperkardioidna, kružna i karakteristika u obliku „osmice“. Kod mikrofona s kardioidnom i hiperkardioidnom karakteristikom osjetljivost na dolazak zvuka najveća je direktno ispred mikrofona. Kardioidni mikrofoni prikupljaju i nešto zvuka sa strane, dok je kod mikrofona s hiperkardioidnom karakteristikom to prikupljanje zvuka sa strane još više reducirano. Kod mikrofona s kružnom karakteristikom osjetljivost na zvuk jednaka je sa svake strane, dok je mikrofonu s

karakteristikom u obliku „osmice“, kako i sam naziv otkriva, osjetljivost izražena s prednje i zadnje strane, ali je zato manja s bočnih strana.³¹

Nadalje, svaki mikrofon ima i određenu impedanciju čija je mjerna jedinica Ohm (Ω), a označava mjeru koja nam govori koliko teško signal putuje kroz medij. Na primjer, metalni vodič s višom impedancijom više će blokirati signal koji putuje, dok će metalni vodič s manjom impedancijom dopustiti prolazak više signala. Kod mikrofona, ona kontrolira protok audio signala. Po impedanciji, mikrofoni se dijele na tri kategorije. U kategoriju mikrofona s malom unutarnjom impedancijom nalaze se mikrofoni s impedancijom manjom od 600 Ohma, mikrofoni koji imaju impedanciju od 600 do 10000 Ohma pripadaju kategoriji mikrofona sa srednjom impedancijom, dok oni mikrofoni koji imaju impedanciju veću od 10000 Ohma smatraju se mikrofonima s visokom impedancijom. U praksi, mikrofoni s niskom izlaznom impedancijom koriste se u situaciji veće udaljenosti između mikrofona i ulaznog stupnja pojačala i pri tome se koriste simetrični priključci mikrofona na pojačalo, dok se mikrofoni s visokom izlaznom impedancijom priključuju asimetrično na pojačalo te je udaljenost između mikrofona i pojačala dosta manja, do nekoliko metara. Važno je napomenuti kako se mikrofon ne priključuje na ulaznu impedanciju jednaku vlastitoj izlaznoj impedanciji, tj. ona mora premostiti uzlaznu impedanciju pretpojačala mikrofona, i to barem 10 puta više.³²

Nelinearna izobličenja ili distorzija, kako danas često možemo čuti, u glazbi je izraz koji se koristi za opisivanje promjene ili deformacije izvornog zvučnog signala, a u praksi izraz za opisivanje namjernog ili neželjenog izobličenja zvuka. Očituje se kada se pri izlazu signala iz sustava javljaju komponente spektra koji nisu postojale u izvornom signalu. Amplituda nelinearnosti tog izobličenja može se odrediti na nekoliko načina, ali se uglavnom određuje prema jedinici harmoničkog nelinearnog izobličenja koja označava zbroj svih alikvota izmjerenih u izlaznom signalu. Granica koja se preferira iznosi oko 1% te je ta brojka kojom proizvođači mikrofona teže pri izradi. U praksi, ako je distorzija 1%,

³¹ <https://www.lewitt-audio.com/blog/polar-patterns> Pristup: 20.09.2023.

³² <https://mynewmicrophone.com/microphone-impedance/> Pristup: 20.09.2023.

neželjene frekvencijske komponente imaju glasnoću 40 decibela manju u odnosu na inicijalnu frekvenciju.³³

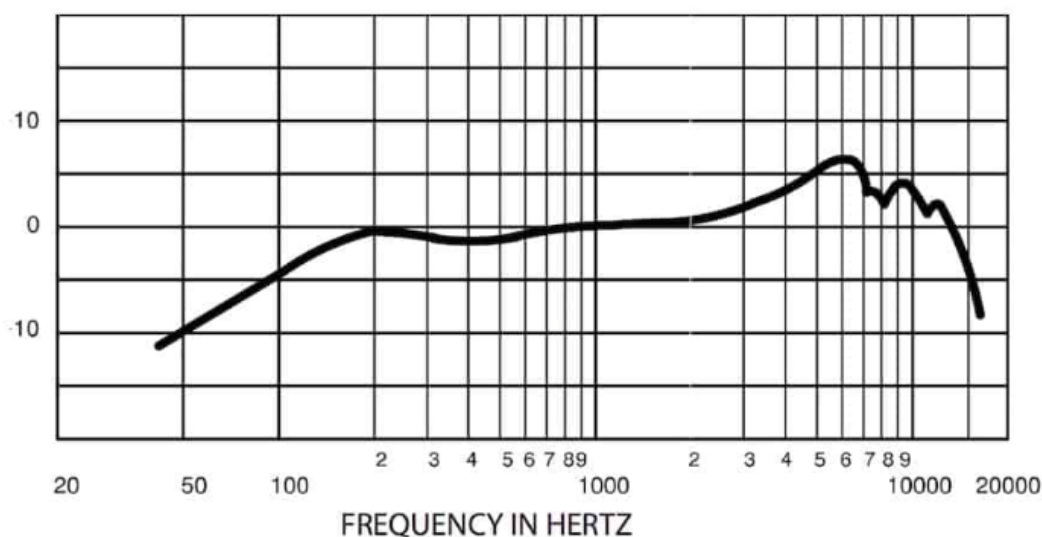
Razliku među tipovima mikrofona možemo vidjeti u njihovoj osjetljivosti. Osjetljivost mikrofona daje nam informaciju o mogućnostima samog pretvarača, koliko učinkovito vrši pretvorbu u električnu energiju. Osjetljivost mikrofona određena je izlaznim naponom samog mikrofona u odnosu na razinu zvučnog tlaka na membrani mikrofona. Prilikom mjerenja osjetljivosti mikrofona uglavnom se koristi sinusni val od 1 kHz pri razini zvučnog tlaka od 94 dB ili pri tlaku od 1 paskala. Osjetljivost mikrofona važna je kako bismo imali saznanje koliki zvučni signal možemo očekivati. Mikrofon niske osjetljivosti poželjni su kada je u interesu snimiti glasniji izvor zvuka. Negativna strana je ta da takvi mikrofoni često ne mogu dati dovoljno izlaznog signala dok se snimaju tiši zvukovi. U tom slučaju se radi pojačanje pretpojačala, ali to opet može dovesti do pojave šuma i pogoršanja konačnog zvučnog signala. S druge strane, mikrofoni visoke osjetljivosti dobar su izbor za snimanje tiših i/ili udaljenijih zvukova, što u suprotnosti stvara problem kod snimanja zvuka s glasnijih izvora zvuka. Sama razina maksimalnog zvučnog tlaka kod mikrofona visoke osjetljivosti je dosta niža u usporedbi s mikrofonima niske osjetljivosti, što dodatno objašnjava koji mikrofon i u kojoj situaciji je bolje koristiti.³⁴

Prijenosni frekvencijski opseg jedna je od najbitnijih karakteristika mikrofona jer ona je ta koja nam poglavito odaje kakav karakterističan zvuk možemo očekivati od mikrofona. Navedena karakteristika zapravo označava izlaznu osjetljivost mikrofona za specifičnu frekvenciju, odnosno detaljno nam opisuje kakav izlazni zvuk mikrofon može proizvesti za različite frekvencijske raspone. Nekoliko je načina prema kojemu se izražava prijenosni frekvencijski opseg, a najčešće i najtočnije podatke možemo saznati iz grafova. Kao što je već prethodno opisano, mikrofoni reagiraju na zvučne valove, tj. mehaničku energiju koji se preko membrana pretvaraju u zvučne signale, tj. električnu energiju. Zvučni valovi sami po sebi su složeni i uglavnom se sastoje od niza frekvencija određenih amplituda. Frekvencijski raspon tih zvučnih valova kreće se od 20 Hz do 20000 Hz. Opseg koji nam je naveden kod određenog mikrofona predstavlja frekvencijski raspon unutar

³³ <https://www.dpamicrophones.com/mic-university/the-basics-about-distortion-in-mics> Pristup: 22.09.2023.

³⁴ <https://mynewmicrophone.com/microphone-sensitivity/> Pristup: 22.09.2023.

kojeg je mikروفон osjetljiv. Neki mikrofoni imaju mogućnost rekreirati čitav raspon zvuka od 20 Hz do 20kHz ili su ograničeni na neki manji pojas unutar cijelog zvučnog frekvencijskog spektra. Iz grafičkog prikaza kod kvalitetnijih mikrofona možemo vidjeti i one frekvencije na koje je određeni mikروفon više ili manje osjetljiv. Za primjer kako to izgleda u praksi uzet ćemo dinamički mikروفon Shure SM57. Po specifikacijama mikrofona, frekvencijski opseg kojeg pokriva je od 40 Hz do 15000 Hz, što znači da taj mikروفon može „uhvatiti“ zvuk u rasponu od 40 Hz do 15000 Hz i sposoban je te frekvencije u konačnici i pretvoriti u signal. Ako pogledamo graf ispod (slika 1), možemo vidjeti kako taj mikروفon uistinu „hvata“ zvukove u tom frekvencijskom rasponu, ali na određenim frekvencijama je manje ili više osjetljiv. Kod specifikacija jeftinijih mikrofona frekvencijski opseg uglavnom se izražava kao: "40 Hz - 15 kHz ± 4 dB", što znači da proizvođač mikrofona garantira da će frekvencijska karakteristika u frekvencijskom području od 40 Hz do 15000 Hz ne bi smjela odstupati više od ± 4 dB od prosječne vrijednosti amplitude.³⁵



Slika 1: Prijenos frekvencijski opseg – Shure SM57 dinamički mikروفon

<https://pubs.shure.com/guide/SM57/en-US> (Pristup 23.09.2023.)

Posljednja važna karakteristika mikrofona njegov je dinamički opseg koji nam definira raspon između najniže i najviše razine signala koji mikروفon može podnijeti. Dinamički

³⁵ <https://mynewmicrophone.com/complete-guide-to-microphone-frequency-response-with-mic-examples/>
Pristup: 23.09.2023.

opseg označava razliku između maksimalnog zvučnog tlaka koju mikrofon može podnijeti prije nego se javi određena količina izobličenja ili distorzije i najnižeg zvučnog tlaka, prirodnog šuma. Ta karakteristika također je i dio pretpojačala koje se koristi s mikrofonom. Dinamički opseg čija je mjerna jedinica decibel, u velikoj mjeri povezan je i sa samom osjetljivošću mikrofona na način da ako je najniža razina dinamičkog opsega 0 dB, mogući je manjak osjetljivosti niske razine i nemogućnost reakcije na takve zvukove (Corbett, 2015).

2.3.2. Tipovi mikrofona

Dinamički mikrofon vrsta je pretvarača³⁶ koji zvučne valove, koji uzrokuju mehaničko titranje zavojnice, pretvara u električni signal/napon pomoću elektromagnetske indukcije.³⁷ Postoje dvije vrste dinamičkih mikrofona, mikrofoni s titrajnom zavojnicom ili mikrofoni s vrpcom³⁸.



Slika 2: Dinamički mikrofon s titrajnom zavojnicom

<https://www.teachmeaudio.com/recording/microphones/dynamic-microphone>

(Pristup: 06.09.2023.)

Kod mikrofona s titrajnom zavojnicom, zavojnica žice pričvršćena je na stražnjoj strani membrane te je smještena je u trajnom magnetskom polju. Kada zvučni valovi uzrokuju titranje membrane, zavojnica žice istodobno titra unutar magnetskog polja. Prilikom

³⁶ Pretvarač – uređaj koji pretvara signale iz jednog oblika u drugi.

³⁷ Elektromagnetska indukcija – stvaranje napona preko električnog vodiča u promjenjivom magnetskom polju.

³⁸ <https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=40749> Pristup: 05.09.2023.

titranja membrane i zavojnice žice inducira se napon male amplitude proporcionalan titrajnoj brzini koji se šalje na transformator u mikrofону koji pojačava napon kako bi bio robusniji. Taj signal putuje iz mikrofona kroz mikrofonski kabel u pretpojačalo ili miksetu u kojoj se signal ovisno o potrebi može pojačati.³⁹

Zbog svoje jednostavnosti, dinamički mikrofoni ovog tipa prilično su robusni. Pripadaju pasivnom tipu mikrofona što znači da im nije potrebno nikakvo vanjsko napajanje.⁴⁰ Obično mogu podnijeti visoke razine zvučnog tlaka. Sve ih to čini idealnim za mnoge primjene kao što su izvedbe uživo na pozornici, za ozvučenje i snimanje bubnjeva i električnih gitarskih pojačala, a posebice za vokal.

Jednostavnost i čvrstina koje krasi dinamički mikrofon dovode do određenih ograničenja u samom radu mikrofona. Budući da su membrana i zavojnica žice prilično teški, dinamički mikrofon ima dosta nižu osjetljivost u usporedbi s kondenzatorskim mikrofonom. Najčešći frekvencijski odziv im je između 50 Hz i 15 kHz što ih čini ograničenim u vrlo visokom frekvencijskom području.⁴¹ S druge strane, dinamički mikrofon obično ima nisku izlaznu impedanciju, obično između 50 i 600 ohma što im omogućuje jednostavnu kompatibilnost s različitom audio opremom i čini ih manje osjetljivima na duljinu kabela.⁴² Njihov dizajn omogućuje im manju osjetljivost na buku pri rukovanju u usporedbi s kondenzatorskim mikrofonom. Dinamički mikrofon danas najčešće ima izlazni priključak tipa XLR, koji je standard u profesionalnoj audio opremi, a usmjerna karakteristika uglavnom je kardioidna.⁴³

³⁹ <https://mynewmicrophone.com/moving-coil-dynamic-microphone/> Pristup: 05.09.2023.

⁴⁰ <https://mynewmicrophone.com/do-microphones-need-power-to-function-properly> Pristup: 05.09.2023.

⁴¹ <https://riverside.fm/blog/dynamic-microphone-vs-condenser> Pristup: 05.09.2023.

⁴² <https://mynewmicrophone.com/microphone-impedance/> Pristup: 05.09.2023.

⁴³ <https://mynewmicrophone.com/moving-coil-dynamic-microphone/> Pristup: 09.05.2023.

Mikrofoni s vrpcom, iako smatrani zasebnim tipom mikrofona, vrsta su dinamičkog mikrofona, uz dinamički mikrofonski zavojnicom. Svi dinamički mikrofoni rade na isti osnovni način, oni su pretvarači, što znači da su to uređaji koji pretvaraju jedan oblik energije, u ovom slučaju mehaničku energiju zvučnih valova u drugi, u ovom slučaju električni signal ili napon. Obje vrste mikrofona rade to pomoću elektromagnetizma, ali na malo drugačije načine.



Slika 3: Dinamički mikrofonski s vrpcom

<https://www.sweetwater.com/store/detail/R121--royer-r-121-ribbon-microphone>

(Pristup: 25.09.2023.)

Walter Hans Schottky i dr. Erwin Gerlach izumitelji su prvih mikrofona s vrpcom, temeljenih na istoj tehnologiji, davne 1924. godine. Uz njih se uključio i Harry Olson iz RCA⁴⁴ koji je zaslužan za prvi komercijalno dostupan mikrofonski s vrpcom RCA PB-31. Princip rada, kao što i samo ime mikrofona govori, temelji se na iznimno tankoj vrpici vodljivog valovitog metala, uglavnom izrađenog od aluminija i smještenog u magnetskom polju. Promjene tlaka uzrokovane zvučnim valovima u zraku dovode do titranja vrpce u

⁴⁴ RCA – američka elektronička tvrtka

magnetskom polju, inducirajući napon u samoj vrpici. Taj se napon dovodi u transformator koji povećava izlaznu razinu zvuka. Sustav rada vrlo je jednostavan te rezultira prirodnom kvalitetom zvuka za koji se često kaže da ima karakteristike slične zvuku kojeg čuju ljudske uši. Način na koji je vrpca postavljena, njezina duljina od 2.5 cm do 6 cm, širina koja iznosi 0.5 cm i debljina od 0.6 do 2.5 microns⁴⁵ imaju veliki utjecaj na zvuk koji mikrofon proizvodi, među ostalim karakteristikama.⁴⁶ Iako je kvalitetno izrađen mikrofon s vrpcom prilično robustan, s njima se mora pažljivo rukovati. Poželjno je držati mikrofone s vrpcom podalje od izraženih zvukova pucketanja, puhanja i strujanja zraka jer to može dovesti do rastezanja ili loma vrpce, što u konačnici zahtjeva zamjenu vrpce. Pohranjivanje mikrofona s vrpcom na boku na dulje vrijeme također može uzrokovati spuštanje vrpce, a također, kao i kod svakog drugog mikrofona, ispuštanje i pad mogu prouzročiti štetu. Ipak, iznimno tanka vrpca omogućuje mikrofonu s vrpcom „hvatanje“ zvuka s puno detalja u visokim frekvencijama i izvrstan prijelazni odziv⁴⁷, a da pritom zadrži bogati zvuk.

Oblik same vrpce u potpunosti prigušuje zvukove koji dolaze sa strane, tj. nailazak zvučnog vala sa strane vrpce ne uzrokuje njezino titranje. Mikrofon s vrpcom vrlo dobro „hvata“ zvuk i s prednje i sa stražnje strane mikrofona što mikrofone s vrpcom čini mikrofonima s usmjernom karakteristikom u obliku „osmice“, što omogućuje više mogućnosti postavljanja mikrofona kod snimanja. Za primjer, istovremeno se mogu snimati instrument ili glas s prednje strane i ambijent prostorije sa stražnje strane te pravilnim postavljanjem udaljenosti mikrofona od izvora zvukova lako je postići ravnotežu izravnog zvuka u odnosu na ambijent. Zbog navedenih mogućnosti mikrofon s vrpcom kompatibilan je i za intervju dvije osobe.

Velik broj mikrofona s vrpcom su pasivni što znači da u sebi nemaju aktivnu elektroniku te ih čini osjetljivima na ulaznu impedanciju bilo kojeg pretpojačala mikrofona kojim se napajaju. U slučaju preniske impedancije pretpojačala mikrofon može biti prigušen ili opterećen što rezultira lošijim izlazom zvukova visoke frekvencije. Međutim, proizvođači pretpojačala dobro su izvidjeli situaciju i stavili u ponudu pretpojačala s mogućnošću

⁴⁵ micron – mikrometar: 1/1000 mm

⁴⁶ <https://www.prosoundweb.com/ribbon-mics-for-live-adding-another-dimension/> Pristup: 25.09.2023.

⁴⁷ prijelazni odziv – odgovor membrane mikrofona na dolazne zvučne valove

odabira ulazne impedancije što je omogućilo lakše podešavanje i oblikovanje odziva mikrofona. Posebno se tu ističe tvrtka *AEA*⁴⁸ koja je posebno za mikrofone s vrpcom dizajnirala posebna pretpojačala koja pružaju visoku ulaznu impedanciju i konkretno pojačanje s niskom razinom buke kako bi izvukli najbolje iz takvih mikrofona. S vremenom proizvođači su počeli nuditi aktivne mikrofone koji dolaze s već ugrađenom elektronikom u samom mikrofону. Takav sustav donio je i nekoliko prednosti pa se tako izlazni zvuk može pojačati kako bi postao robusniji, a vrpca se može izolirati od impedancije pretpojačala kroz smanjeno prigušivanje i poboljšanu konzistentnost zvuka. S druge strane, ta aktivna elektronika štiti sam mikrofون od eventualnog oštećenja fantomskim napajanjem. Kod pasivnih mikrofona ta opasnost je bila konkretnija te je ostalo nepisano pravilo da se prije spajanja pasivnog mikrofona na pretpojačalo provjeri je li fantomsko napajanje isključeno.

Mikrofoni s vrpcom mnogo su češći u studiju, nego na pozornici uživo, a jedan od najpoznatijih mikrofona s vrpcom danas je Royer Labs R-121.⁴⁹ Postali su industrijski standard posebice za snimanje električnih gitarskih pojačala, posebno u kombinaciji s mikrofonom sa titrajnom zavojnicom, limenih i drvenih puhača pa čak i za snimanje bubnjeva s kojima je svakako važno biti na oprezu jer bi zbog nepravilnog postavljanja mikrofona tokom snimanja moglo doći do oštećenja samog mikrofona.⁵⁰

⁴⁸ AEA – američka tvrtka specijalizirana u proizvodnji mikrofona s vrpcom i pripadajućih pretpojačala

⁴⁹ <https://ehomerecordingstudio.com/best-ribbon-mics/> Pristup: 25.09.2023.

⁵⁰ <https://mynewmicrophone.com/the-complete-guide-to-ribbon-microphones-with-mic-examples/> Pristup: 25.09.2023.

Kondenzatorski mikrofon, koji se nekad naziva i elektrostatički, vrsta je pretvarača koja pretvara mehaničku energiju zvučnih valova u napon ili električni signal. Za razliku od ostalih vrsta, koristi se tehnologijom koja se zove promjenjivi kapacitet. Navedena tehnologija funkcionira na način u kojem su element ili kapsula kondenzatorskog mikrofona zapravo specijalizirana vrsta kondenzatora koja kao elektronička komponenta privremeno skladišti energiju.



Slika 4: Kondenzatorski mikrofon

<https://musicshop.hr/hr/7154-mikrofon-audio-technica-2020-cond.html>

(Pristup: 25.09.2023.)

Davne 1916. godine Edward Christopher Wente radeći u kompaniji *Western Electric* izumio je prvi kondenzatorski mikrofon koji se sastoji od dvije metalne ploče čiju udaljenost određuje kapacitet. Membrana je građena od električki vodljivog metala, često zlatom prskanog milara i služi kao jedna ploča te se pomiče u odnosu na fiksnu ili nepokretnu ploču koja se naziva stražnja ploča, a služi kao druga strana kondenzatora.

Titranje membrane kao odgovor na promjene tlaka zvučnih valova pomiče je bliže ili dalje od fiksne, što dovodi do promjenjivog kapaciteta.

Postoji nekoliko načina za dobivanje zvučnog signala iz kondenzatorskih mikrofona. Vrlo čest tip kondenzatorskog mikrofona je onaj s istosmjernim prednaponom. Membrana i ploča imaju fiksni naboj koji se naziva prednaponom, a osigurava ga fantomsko napajanje ili baterija. Kako se membrana pomiče, napon varira iznad i ispod prednapona koji daje audio signal. Druga vrsta tehnologije kondenzatorskih mikrofona nazvana je *RF*⁵¹ u kojem kondenzatorski mikrofoni koriste oscilator koji je moduliran promjenama kapaciteta. Ovo je vrsta tehnologije koju koristi poznata Sennheiser MKH serija mikrofona. U električnom kondenzatorskom mikrofoni element je napravljen od feroelektričnog materijala koji je poznat kao elektr i ima trajni naboj. Nije potrebno vanjsko napajanje za prednapon, iako bi moglo biti potrebno za drugu elektroniku u mikrofoni. Treća tehnologija kondenzatorskih mikrofona vezana je uz cijev. Takav mikrofoni radi kao bilo koji drugi kondenzatorski mikrofoni, ali koristi vakuumsku cijev ugrađenu u elektronicu mikrofona. U toj situaciji izlazni napon vrlo je visok, ali vrlo niske jakosti struje jer je u kondenzatoru pohranjeno malo energije. Iz tog razloga, kondenzatorski mikrofoni zahtijeva krug pretvarača impedancije ugrađen u mikrofoni kao amortizator signala i pojačivač razine struje.

Stoga gotovo sve vrste kondenzatorskih mikrofona zahtijevaju vanjsko napajanje, što danas u većini slučajeva znači fantomsko napajanje. Inače, standardno fantomsko napajanje od 48 volti koje svi danas poznajemo izumio je Georg Neumann 1966. godine kao način napajanja kondenzatorskih mikrofona na konzolama za miksanje, bez potrebe za vanjskim izvorima napajanja.⁵²

Veliku prednost koju imaju kondenzatorski mikrofoni je ta što se membrana može napraviti vrlo tankom i laganom što sam mikrofoni čini izuzetno osjetljivim na zvučne valove. Ta prednost kondenzatorskim mikrofoni daje najširi frekvencijski opseg i najbolji prijelazni odziv od gotovo svih ostalih tipova mikrofona. Kondenzatorski mikrofoni također pružaju visoku osjetljivost i izlazni zvuk s manjim šumom naspram drugih tipova

⁵¹ RF – radio-frequency, radijska frekvencija na hr.

⁵² <https://vocalist.org.uk/what-is-phantom-power#h-a-brief-history-of-phantom-power> Pristup: 25.09.2023.

mikrofona. Uvijek postoje iznimke, ali sve navedeno je razlog zašto su kondenzatorski mikrofoni toliko popularni za studijsko snimanje vokala i instrumenata, od akustičnih instrumenata, bubnjeva pa i do cijelog orkestra, a često se koriste i na pozornici. Danas možemo svjedočiti nevjerojatnu raznolikost kondenzatorskih mikrofona koje aktivno proizvodi velik broj proizvođača, u širokom rasponu cijena i značajki.⁵³

⁵³<https://mynewmicrophone.com/what-is-a-condenser-microphone-detailed-answer-examples/>
Pristup: 26.09.2023.

3. IZVOR ZVUKA

Uređaji za reprodukciju snimljene glazbe omogućavaju korisniku, kako i samo ime govori, slušanje glazbe koja je prethodno snimljena, tj. konačni zvuk procesa glazbenog stvaralaštva. Shodno tome, u završnim poglavljima razrada će se kretati oko samog zvuka, odakle taj zvuk dolazi i u konačnici preko kojih to danas točno uređaja taj zvuk možemo i reproducirati. Za početak, zvuk je sam po sebi mehanički val koji se širi kroz elastični materijalni medij, frekvencijskog je raspona od 20 Hz do 20000 Hz, a taj frekvencijski raspon čini ono što ljudsko uho može čuti (Alten, 2013). U slučaju da je frekvencija zvuka niža od 20 Hz, takav se naziva infrazvukom, a ako je slučaj da je frekvencija zvuka viša od 20000 Hz, takav zvuk naziva se ultrazvukom. Zvuk nastaje periodičnim titranjem tijela koje u neposrednoj okolini mijenja tlak medija. To tijelo naziva se izvor zvuka, a u teorijskom smislu ono predstavlja i jedno od svojstava samog zvuka.

Izvor zvuka je tijelo koje stvara dodatni izmjenični tlak, zvučni tlak, povrhnatmosferskog tlaka, stvarajući tako zvučne valove u nekom elastičnom sredstvu koji djeluju u frekvencijskom rasponu od 20 Hz do 20000 Hz. Svako tijelo koje vibrira u prijenosnom mediju izvor je zvuka, čak i ako zvuk, poput infrazvuka i ultrazvuka, nije uvijek zamjetan za ljude (Brixen, 2020). Postoje više oblika titranja izvora zvuka, a najjednostavniji oblik harmoničko je titranje koje stvara harmoničke valove. Svaki izvor zvuka ima i svoju usmjernu karakteristiku pa tako izvore zvukova koje imaju kardiodnu karakteristiku ili karakteristiku u obliku „osmice“ nazivamo usmjerenim izvorima zvuka, dok izvore koji imaju kružnu usmjernu karakteristiku nazivamo neusmjerenim izvorima zvuka.⁵⁴ Izvori zvuka mogu se podijeliti i na korisne izvore zvuka čime se smatra glazba i izvore buke kod kojih je razvoj zvuka neželjena nuspojava, kao što je zvuk prometa na cesti. Svaki izvor zvuka razlikuje se po zvučnom spektru kojem pripada, kada je frekvencija titranja nepromjenjiva radi se o izvorima čistog tona, dok izvore zvukova čiji tonovi sadržavaju više frekvencija nazivaju se izvorima složenog tona. U ovu kategorizaciju pripada i šum

⁵⁴ <https://tl.lzmk.hr/Clanak/2815> Pristup: 03.10.2023.

zapravo posljedica potpuno nepravilnog titranja.⁵⁵ Čovjekov izvor zvuka, tj. izvor njegovog glasa nalazi se u grkljanu.

U inženjerstvu zvuka, glazbeni izvor zvuka je zvučno tijelo poput instrumenta gitare, puhačkog kvarteta ili klavirskog dua, a po načinu stvaranja zvuka pripadaju akustičkim izvorima zvuka. Korištenjem elektroničkih sredstava, primarni izvori zvuka kao što su glazbeni instrumenti i pjevači također se mogu reproducirati na drugim mjestima u različito vrijeme. Zvučnici, kao elektroakustički pretvarači zvuka, obično se koriste za reprodukciju pa onda i oni sami predstavljaju izvor zvuka, a po načinu stvaranja zvuka pripadaju elektroakustičkim izvorima zvuka.⁵⁶

Fantomske izvore zvuka generiraju dva ili više stvarnih izvora zvuka čiji signali imaju male razlike u vremenu emitiranja i tako daju dojam da su izvori zvuka na drugačijoj lokaciji nego što je to stvarno slučaj. U ovoj situaciji kao izvor zvuka obično služe zvučnici. Virtualni izvor zvuka, prema Huygensovom načelu⁵⁷, može se generirati s dovoljno velikim brojem zvučnika. Elementarni valovi fizički sintetiziraju valnu frontu koja izvire iz virtualnog izvora zvuka. Za razliku od fantomskog izvora zvuka, njegovo prividno polazište ne ovisi o lokaciji slušatelja, niti o psihoakustičkim učincima. Prema principu sinteze valnog polja, takvim virtualnim izvorima zvuka može se simulirati akustika sobe za snimanje.

⁵⁵ <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=1265> Pristup: 03.10.2023.

⁵⁶ <https://www.fremdwort.de/suchen/bedeutung/schallquelle> Pristup: 03.10.2023.

⁵⁷ <https://dosits.org/science/advanced-topics/how-does-sound-move-wave-propagation-and-huygens-principle/> Pristup: 03.10.2023.

4. ZVUČNICI

Današnje funkcioniranje društva i ljudsku svakodnevicu teško bi bilo zamisliti bez postojanja zvučnika. Ne bismo bili u mogućnosti slušati omiljenu glazbu, ne bi postojao radio, a niti televizor i mobitel ne bi imali funkciju koju imaju danas da u svojoj građi ne sadržavaju zvučnik. Zvučnici su jedan neizostavan dio tehnologije koji je revoluciju učinio znatno konkretnijom, a možda ipak pomalo ostao u sjeni. Interesantno je vidjeti kako je razvoj tehnologije doveo do toga da zvučnici veličine ljudske šake mogu proizvesti vrlo kvalitetne i delikatne zvukove. Svakako, u povijesti je to krenulo malo drugačije.

4.1. Povijesni razvoj zvučnika

Današnji elektronički zvučnici korijene vuku u razvoju tehnologija radija i telefona. Johann Philipp Reis izumitelj je prvog jednostavnog tipa elektroničkog zvučnika 1861. godine kojega je uklopio u svoj telefon. Iako je prvobitno mogao reproducirati samo ugrubo reproducirati jasne tonove, nakon nekoliko revizija postao je sposoban reproducirati i prigušeni govor.

Godine 1876., Alexander Graham Bell, koji je zaslužan za izum telefona, pokušao je stvoriti zvučnik inspiriran radom Johanna Philippa Reisa. Međutim, u to vrijeme nije bilo dovoljno razumijevanja fizike i inženjerstva materijala za stvaranje uspješnog elektrodinamičkog zvučnika. Ipak, potreba za pojačavanjem zvukova odigrala je ulogu u pokretanju razvoja pojačala. Koncept zvučnika pokretanog elektromagnetskom zavojnicom predstavio je 1877. Werner Von Siemens, osnivač Siemens, električne i telekomunikacijske tvrtke. Siemens je eksperimentirao s unosom signala istosmjernih prijelaza i telegrafskih signala u zvučnik. Iako njegovi početni pokušaji nisu bili uspješni, njegovi su ga eksperimenti doveli do teorije da se pojačanje na kraju može postići.

Istovremeno su Thomas Edison i Nikola Tesla provodili pokuse i uspoređivali uređaje. Edison je dobio britanski patent za sustav koji uključuje komprimirani zrak kao mehanizam za pojačavanje njegovih fonografa. Na kraju se odlučio za konvencionalni metalni rog kojeg pokreće membrana spojena na iglu.

Tijekom tog doba, izumitelji su ovisili o rogovima za pojačanje. Thomas Edison, *Magnavox* i *Victor Talking Machine Company*, poznati po proizvodnji Victrola fonografa na navijanje, stvorili su sofisticirane i učinkovite dizajne truba. Međutim, izazov je bio taj što njihovi rogovi nisu značajno pojačali zvuk.

Horace Short 1898. godine dobio je patent za zvučnik napajan komprimiranim zrakom, kasnije prodavši prava Charlesu Parsonsu. Nekoliko izumitelja i tvrtki istraživalo je koncept elektrodinamičkih zvučnika. *Pathé* i *Victor Talking Machine Company* proizvodili su gramofone koji su koristili zvučnike s komprimiranim zrakom, ali ti su uređaji bili ozbiljno ograničeni proizvodnjom iskrivljenih zvukova niske kvalitete.

Oliver Lodge zaslužan je za nastanak prvog eksperimentalnog zvučnika s pokretnom zavojnicom 1898. godine, dok su 1915. godine Peter Laurits Jensen i Edwin Pridham imali svoje zasluge u stvaranju konkretno funkcionalnih inačica zvučnika s pomičnom zavojnicom. Slično ranijim dizajnima, koristili su rogove za pojačavanje zvuka koji stvara mala membrana. Međutim, Jensen i Pridham suočili su se s odbijanjem patenata, što ih je navelo da preusmjere fokus na radio uređaje i sustave javnog razglasa. Osnivanjem svoje tvrtke *Magnavox* postigli su izuzetan uspjeh na tom novom tržištu.

Chester Williams Rice iz *General Electrica* i Edward Washburn Kellogg iz *AT&T* 1924. godine patentirali su princip rada s titrajnom zavojnicom. Uspješno su prilagodili svojstva zavojnice kako bi smanjili frekvenciju na kojoj je impedancija zračenja stošca postala konzistentna, učinkovito reproducirajući zvuk. Prethodni pokušaji stvaranja zvučnika rezultirali su nepoželjnim prigušenim zvukovima, ali Rice i Kellogg su prevladali te probleme, postigavši jasan i oštar zvuk. Njihov prototip se mogao pohvaliti širim dinamičkim rasponom frekvencija, nadmašujući mogućnosti tradicionalnih rogova. Osim toga, mogao je postići i više razine glasnoće. Nakon nekoliko godina, uspjeli su usavršiti proizvod nazvavši ga *Radiola Loudspeaker #104*. Predstavljen je 1926. godine, proizvodila ga je kompanija *Radio Corporation of America (RCA)*, a koštao je 250 američkih dolara (Holland i Newell, 2019).

Uređaji koji se koriste za proizvodnju zvuka u telefonima i radio slušalicama nazivaju se reproduktorima. Između 1880-ih i 1890-ih izumitelji su povremeno istraživali načine kako proširiti doseg telefona na veću publiku. Neki su pričvrstili veliki rog na telefonsku

slušalicu, stvarajući ono što je bilo poznato kao "telefon s zvučnikom" pa je tako došlo do današnjeg naziva "zvučnik". Predstavljanjem prvog vakumskog elektroničkog cijevnog pojačala 1916. godine otvoren je put prema razvoju pravog zvučnika. Kvaliteta zvuka nije još bila odgovarajuća za, na primjer, filmski svijet, ali je imala dovoljnu kvalitetu i sposobnost u sustavima javnog razglasa.

Godine 1924. predstavljen je prvi komercijalni električni zvučnik. Funkcionirao je na način da je koristio elektromagnet za pomicanje velikog papirnato g stošca koji je reproducirao izvorni zvuk, pritom vibrirajući zbog pojačanog signala. Ovaj je dizajn inspiriran određenim modelima ranih telefona koje je razvila tvrtka *Siemens* 1880-ih godina. U isto vrijeme, radijska tehnologija dovela do stvaranja nove branše u svijetu zvučnika i pripadajuće tehnologije. Godine 1924. *Brunswick Balke Collender Company*, u suradnji s *RCA*, *Westinghouseom* i *General Electricom*, lansirala je prvi potpuno električni kućni fonograf. Ovaj je uređaj imao dinamički zvučnik, izraz koji se još uvijek primjenjuje na zvučnike koji se danas koriste.

Te iste godine, Walter Hans Schottky, zajedno s dr. Erwinom Gerlachom, razvio je prvi zvučnik s vrpcom koji je koristio diode. Kasnije, 1930-ih godina, zvučnici s vrpcom počeli su kombinirati pogonske jedinice kako bi poboljšali pojačanje. James Bullough Lansing, Douglas Shearer i John Kenneth Hilliard 1937. godine razvili su *Shearer Horn* sustav za kazališta, koji se smatra začetnikom zvuka visoke vjernosti znanog kao Hi-Fi, a kojeg je u filmsku industriju uveo *Metro-Goldwyn Mayer*.⁵⁸ A 1939. godine na tornju u Flushing Meadowsu⁵⁹ postavljen je masivan razglas za vrijeme Svjetske izložbe New Yorka. Sustav je dizajnirao Rudy Bozak.

Kasnije, 1934. godine, tvrtka *Altec Lansing* lansirala je 604, poznati Duplex driver koji je značajno poboljšao kvalitetu zvuka i same performanse. *Altecov* sustav zvučnika „Glas kazališta" predstavljen je 1945. godine, pružajući bolju jasnoću i koherentnost pri velikim glasnoćama, ključnim za kino dvorane. Podvrgnut je rigoroznom testiranju od strane

⁵⁸ Metro-Goldwyn Mayer – američka filmska kompanija za proizvodnju i distribuciju filmova i televizijskog programa

⁵⁹ Flushing Meadows - park

Akademije filmskih umjetnosti i znanosti te je postao industrijski standard za produkcijske kuće. Dan danas ovaj dizajn zvučnika se i dalje proizvodi.

Edgar Villchur 1954. godine predstavio je koncept akustičnog ovjesa za zvučnike, omogućavajući superioran odziv basa u usporedbi s ranijim modelima smještenim u manjim kutijama. Ova je inovacija odigrala značajnu ulogu u tranziciji prema stereo snimanju i produkciji. Henry Kloss i Edgar Villchur udružili su se kako bi osnovali tvrtku *Acoustic Research Company*, posvećenu proizvodnji i prodaji sustava zvučnika koji koriste akustični ovjes. Danas postoje brojni visokokvalitetni centralni zvučnici koji nude izvrsnu kvalitetu zvuka i bas te su dostupni za kvalitetno postavljanje kućnog kina.⁶⁰

Ključni razvoj u čovjekovom uživanju u zvuku u svojoj kući dogodio se 1980. godine izumom aktivnog 2-smjernog sustava od strane tvrtke *Meyer Sound Laboratories*. Ovaj elektronički zvučnik uključuje visokotonce za zvukove visoke frekvencije, niskotonce za zvukove niskih frekvencija i sklopove za usmjeravanje signala na oba pogonska uređaja. S obzirom na široki frekvencijski raspon, ovaj je sustav pokrивao kompletan spektar zvuka. U dogledno vrijeme, njihova su postignuća dovela do razvoja trosmjernog sustava, sa pogonskim programom srednjeg tona za srednje frekvencije i subwooferom koji upravlja najnižim frekvencijama. Ova inovacija otvorila je nove mogućnosti u zvuku, što su audio entuzijasti jako cijenili.

Eksperimentiranje s dizajnom kompaktnih zvučnika utrla je put prijenosnom slušanju glazbe. Tijekom 1980-ih godina to je značilo nošenje teškog radio kasetofona na ramenima, a 1990-ih godina je tu ulogu uzeo Walkman. Danas su za jednostavno slušanje glazbe tu bežični bluetooth zvučnici, auto radio pa i sami mobilni telefoni.

4.2. Zvučnici i njihove posebnosti

Zvučnici rade kao elektroakustički pretvarači koji pretvaraju električnu energiju u zvučne valove, proces obrnut načinu rada mikrofona. Radi se o pretvorbi električnog signala s frekvencijama čujnog tona, od 20 Hz do 20,000 Hz. Zvučna jedinica (driver

⁶⁰ <https://soundgenetics.com/the-history-of-the-speaker/> Pristup: 05.10.2023.

zvučnika), koja funkcionira kao pretvarač, uzima električne signale i pretvara ih u visokotlačne ili niskotlačne zračne valove. Za proizvodnju zvuka zvučna jedinica spaja se na izvor električnog signala putem audio kabela. Električni signali prolaze kroz cilindar omotan žicom kojeg nazivamo titrajnom zavojnicom s nosačem te uzrokuju pomicanje kružne membrane naprijed-natrag unutar magnetskog polja. Ovo kretanje stvara promjene tlaka zraka koje se tumače kao zvuk. Većina zvučnika zatvorena je unutar posebnih kućišta čija je uloga proizvodnja zvučnog vala koji nastaje samo na prednjem dijelu zvučnika.

Danas se zvučnici mogu naći u raznim oblicima i veličinama, od najmanjih u mobitelima pa do masivnih zvučnika u ozvučenjima na stadionima i u dvoranama. Osim standardnih akustičkih karakteristika koje svaki zvučnici posjeduju, postoje razne posebnosti s kojima se čovjek susreće u radu sa zvučnicima i općenito u glazbi. Pa tako se može naići na zvučnik punog opsega, vrstu zvučnika dizajniranog za reproduciranje najšireg mogućeg raspona frekvencija koje ljudsko uho čuje koristeći samo jednu titrajnu zavojnicu i zvučnu jedinicu. Tu su i studijski monitori, koji su specijalizirani zvučnici stvoreni za potrebe profesionalnog bavljenja glazbom i produkcije zvuka. Nazivaju se monitori jer su posebno precizni pri reprodukciji zvučnog signala koji je ključni aspekt tijekom snimanja, produkcije, uređivanja, miksiranja ili masteringa. Neki studijski monitori klasificirani su kao monitori bliskog polja što znači da imaju manje zvučne jedinice (drivere) i da bi bilo poželjno postaviti ih na kratku udaljenost od samog slušatelja. Ovakva postavka osigurava da zvuk izravno dopire do ušiju slušatelja, smanjujući neželjene refleksije koje mogu biti uzrokovane akustikom prostorije.

Zvučnici, kao i mikrofoni, mogu biti aktivni ili pasivni. Aktivni zvučnici zahtijevaju izvor električne energije za napajanje svojih ugrađenih pojačala, dok pasivni zvučnici ne zahtijevaju napajanje, ali moraju biti spojeni na posebno pojačalo ili prijemnik kako bi stvarali zvuk.

U sustavu zvučnika kojeg čine više zvučnih jedinica dolazi do pojave *crossover* mreže koja čini skup filtara koji dijele dolazni zvuk u više frekvencijskih pojaseva i svaki šalju najprikladnijoj zvučnoj jedinici. Niske frekvencije idu na niskotonce, dok visoke frekvencije idu na visokotonce. Zvučnici mogu biti i dio sustava pojačanja zvuka, sustava za

učinkovitu reprodukciju zvuka uživo ili unaprijed snimljeni zvuk u velikom unutarnjem ili vanjskom okruženju. Takvo ozvučenje često uključuje više kompleta zvučnika, kao i pojačala, miks konzole, procesore signala, mikrofone, gramofone i drugu profesionalnu audio opremu.⁶¹

4.3. Karakteristike zvučnika

Osjetljivost zvučnika, ponekad nazivana i učinkovitost, određuje snagu potrebnu za rad zvučnika. Ona predstavlja mjeru za izlaz zvuka koji proizvodi zvučnik s jednim vatom ulazne snage iz pojačala i mjeri se pomoću mikrofona i mjerača razine zvuka postavljenog metar ispred zvučnika. Rezultat se izražava u dB. Mnogi su zvučnici izrazito neučinkoviti; samo 1% električne energije od pojačala do standardnog kućnog zvučnika pretvara se u akustičnu energiju. Ostatak se pretvara u toplinu, uglavnom unutar sklopa titrajne zavojnice i magneta. Postizanje pravilnog usklađivanja impedancije između zvučne jedinice i zraka u koji zrači pokazalo se izazovnim pa iz tog razloga dolazi do neučinkovitosti. Učinkovitost zvučnih jedinica zvučnika također varira s frekvencijom. Na primjer, izlaz zvučnika niskotonca se smanjuje kako se smanjuje ulazna frekvencija. Učinkoviti zvučnici pak imaju značajnu prednost jer zahtijevaju manje energije za rad, proizvode manje topline i općenito uživaju duži životni vijek komponenti. Jedinstvena mjera osjetljivosti nije univerzalno definirana, ali ona generalno iznosi oko 96 dB.⁶²

Impedancija zvučnika, mjerena u ohmima, označava otpor električnoj struji u krugu. Ova je mjera ključna pri povezivanju pojačala, AV prijemnika ili zvučnika jer neusklađena impedancija može dovesti do izobličenja. Kako bi riješili probleme s impedancijom zvučnika, proizvođači proizvode žice zvučnika od različitih materijala i veličina, osiguravajući kompatibilnost s izlazima prijemnika. Ove žice mogu imati bakrene ili srebrne zavojnice oko aluminizirane čelične jezgre ili mogu biti izrađene omotavanjem tanjih žica zajedno, smanjujući izobličenje zvučnika i minimizirajući napor zvučnika. Kada impedancija zvučnika ne odgovara pojačalu, nastaju problemi. Na primjer, ako se

⁶¹ <https://splice.com/blog/how-do-speakers-work/> Pristup: 10.10.2023.

⁶² <https://support.klipsch.com/hc/en-us/articles/360025619391-Speaker-Sensitivity> Pristup 10.10.2023.

pojačalo od 8 ohma spoji na zvučnik s nižom impedancijom, učinkovitost zvučnika opada, što dovodi do izobličenja. Spajanje zvučnika niske impedancije na pojačalo predviđeno za visoku impedanciju (iznad 8 ili 16 ohma) opterećuje zvučnik, tjerajući ga da radi teže, stvara dodatnu toplinu, a potencijalno može uzrokovati oštećenje ili kvar. Bitno je obratiti pažnju na detalje jer se tako mogu spriječiti problemi s impedancijom zvučnika. Usklađivanje impedancije zvučnika s pojačalom ključno je pri spajanju zvučnika na prijemnik. Na primjer, ako imate sustav zvučnika s četiri zvučnika od 8 ohma, pametno je upariti ga s prijamnikom s nominalnom snagom od 8 ohma. Ovo osigurava da se pojačalo neće preopteretiti ako jedan zvučnik bude trošio više energije. Prilikom usklađivanja impedancije zvučnika, najbolje je odabrati pojačalo koje omogućuje podešavanje impedancije ili kupiti prijemnik koji odgovara impedanciji zvučnika.⁶³

Sposobnost zvučnika da točno reproducira različite audio sadržaje određena je točnošću njegovog frekvencijskog odziva, što pokazuje koliko dobro proizvodi zvuk na različitim frekvencijama ili visinama. Frekvencije su bitni elementi u glazbi, filmovima, *podcastima* i drugim zvučnim materijalima. Procjena točnosti frekvencijskog odziva zvučnika pomaže u opisivanju njegovih karakteristika zvuka, kao što je jak bas, visok, topao ili uravnotežen zvuk. Dok neki slušatelji preferiraju neutralan, uravnotežen zvuk u rasponima basa, srednjih i visokih tonova, individualne preferencije variraju. Različiti zvučni sadržaji zahtijevaju različite aspekte točnosti frekvencijskog odziva. Za sadržaje s puno dijaloga kao što su *podcasti*, dobro uravnotežen srednji raspon je neophodan. Za entuzijaste glazbenih žanrova s jakim basom, poželjan je naglasak na nižim frekvencijama. Iako točnost frekvencijskog odziva ne označava razine glasnoće ili širinu zvučne scene, ona označava sposobnost zvučnika da vjerno reproducira audio sadržaj u cijelom frekvencijskom spektru.⁶⁴

Oznaka snage zvučnika označava maksimalnu električnu snagu koju zvučnik može podnijeti bez izobličenja ili oštećenja, što je ključni faktor za kupce zvučnika. Važno je razlikovati nazivnu snagu pojačala i specifikaciju snage zvučnika. Zvučnici ne stvaraju snagu, za to služe pojačala. Specifikacija snage, mjerena u vatima, označava koliko

⁶³ <https://www.hifireport.com/speaker-impedance/> Pristup: 10.10.2023.

⁶⁴ <https://www.rtings.com/speaker/tests/sound/frequency-response-accuracy> Pristup: 10.10.2023.

snage zvučnik može sigurno primiti od pojačala bez izobličenja. Pretjerana frekvencija zvučnika uzrokuje izobličenje i pretjeranu toplinu, što ga potencijalno čini neupotrebljivim. Stoga je važno uskladiti snagu zvučnika s izlaznom snagom pojačala kako biste spriječili oštećenje. Pogledom u specifikacije zvučnika navedena je minimalna vrijednost za snagu potrebnu kako bi zvučnici proizveli bilo kakav zvuk. Još važnija specifikacija je maksimalna vrijednost koja označava maksimalnu razinu snage koju zvučnik može podnijeti bez distorzije i izobličenja zvuka. Oznaka RMS ili Root Mean Square predstavlja održivi kapacitet rukovanja snagom zvučnika u scenarijima stvarnog svijeta. Ona označava prosječnu snagu koju zvučnik može neprekidno podnijeti bez izobličenja ili oštećenja. Usklađivanje RMS izlazne snage pojačala sa zvučnicima sprječava oštećenje i održava optimalni rad. S druge strane, vršna snaga odnosi se na maksimalnu snagu koju zvučnik trenutno može podnijeti. Pri pogledu na specifikacije zvučnika, bitno je razjasniti je li nazivna snaga RMS ili vršna, iako te informacije možda neće uvijek biti navedene.⁶⁵

Zvučna jedinica (driver) ključna je komponenta zvučnika koja stvara zvučne valove i čija veličina opisuje promjer same zvučne jedinice unutra zvučnika. Standardni zvučnik sadrži jedan ili više zvučnih jedinica različitih veličina i vrsta za rukovanje različitim frekvencijskim rasponima. Subwoofer je zvučna jedinica specijalizirana za reprodukciju zvukova niske frekvencije, a to joj omogućuje promjer veći od 20 cm, a uz nju je i klasični niskotonac koji ima nešto manji promjer od desetak cm. Uz zvučne jedinice srednjeg frekvencijskog opsega, kao najmanje zvučne jedinice tu su visokotonci promjera manjeg od 3 cm i ključni su za reprodukciju zvukova visoke frekvencije.⁶⁶

Usmjerenost se odnosi na to kako se frekvencijski odziv zvučnika mijenja kada se zvuk čuje iz različitih kutova, odnosno koliko je zvuk fokusiran u određenom smjeru. Zvučnik sa širokom usmjerenošću održava dosljedne razine zvučnog tlaka (SPL) između zvuka na i izvan osi, dok zvučnik s uskom usmjerenošću pokazuje značajne razlike u amplitudi između zvuka na i izvan osi.⁶⁷

⁶⁵ <https://www.the-home-cinema-guide.com/speaker-power-rating.html> Pristup: 10.10.2023.

⁶⁶ <https://www.audiostance.com/what-are-speaker-drivers-how-do-they-differ/> Pristup: 10.10.2023.

⁶⁷ <https://acousticfrontiers.com/blogs/articles/speaker-directivity-off-axis-response-theory-and-measurement-techniques> Pristup: 10.10.2023.

4.4. Podjela zvučnika prema načinu rada

Zvučnici, kao što je ranije navedeno, ustvari su pretvarači koji električnu energiju pretvaraju u mehaničku energiju valova, a kod zvučnika ih još nazivamo i zvučnim jedinicama ili driverima. Prema tome, zvučnici se mogu podijeliti prema načinu rada, odnosno prema vrsti drivera preko kojih stvaraju zvuk.

Dinamički zvučnici rade preko drivera s titrajnom zavojnicom koji pretvara audio signale u zvučne valove koristeći principe elektromagnetizma. Sastoji se od četiri bitne komponente: membrane, zvučne zavojnice (titrajne zavojnice), magneta (uključujući polne dijelove) i kućišta. Titrajna zavojnica, obično izrađena od čvrsto namotane bakrene žice, spojena je na tanku, kružnu membranu. Njihovo izravno spajanje osigurava da se pri titranju zavojnice pomiče i membrana. Magnet je oblikovan upotrebom polarnih dijelova za produljenje magnetskih polova na određenim mjestima za proširenje magnetskih polova u određenim područjima te stvara magnetsku strukturu gdje je vodljiva zavojnica obješena bez fizičkog kontakta. Sve ove komponente smještene su zajedno unutar kućišta za zvučnike. U ovom načinu rada, zvučni signal prolazi kroz vodljivu glasovnu zavojnicu, izazivajući elektromagnetske učinke. Struja koja teče naprijed stvara pozitivno magnetsko polje, dok struja koja teče unatrag stvara negativno magnetsko polje unutar zavojnice. Promjenjivo magnetsko polje zavojnice u interakciji je s trajnom magnetskom strukturom, uzrokujući titranje zavojnice i membrane naprijed i natrag na temelju strujnog protoka zvučnog signala. Dok se membrana pomiče, ona proizvodi zvučne valove u okolnom mediju. Ovaj temeljni elektromagnetski mehanizam podupire funkcionalnost većine pretvarača slušalica i zvučnika.



Slika 5: Dinamički zvučnici

<https://www.krkmusic.com/ROKIT-Powered-G4-Studio-Monitors>

(Pristup: 10.10.2023.)

Magnetostatski ili planarni magnetski pretvarači zvučnika funkcioniraju slično kao planarni magnetski pretvornici za slušalice, ali u većem opsegu. Ovi pretvornici rade na temelju elektromagnetskih principa. Tanka ravna membrana planarnog magnetskog zvučnika sadrži ugrađenu vodljivu žicu koja prenosi izmjeničnu struju pojačanih zvučnih signala. Ovaj tok struje stvara promjenjivo magnetsko polje unutar membrane. Postavljena između dviju magnetskih struktura ili u blizini jedne magnetske strukture u određenim izvedbama, membrana oscilira naprijed-natrag prateći audio signal. Njegovo kretanje događa se na planarni bipolarni način, minimizirajući savijanje ili boranje i rezultirajući malim izobličenjem.

Zvučnik s vrpčastim driverom ima sličnosti s ranije spomenutim planarnim magnetskim zvučnikom, ali se razlikuje u nekoliko ključnih aspekata. Njegova membrana je u potpunosti vodljiva, bez ugrađenih vodljivih elemenata i dizajnirana je s minimalnom masom za precizno kretanje. U idealnom slučaju, membrana je valovita kako bi se povećala poprečna krutost i smanjila njena rezonantna frekvencija. Da bi takav zvučnik funkcionirao, potrebno mu je pojačalo sa transformatorom za smanjenje napona zvučnog signala i povećanje struje. Za razliku od ravnih magnetskih zvučnika, magneti vrpčastog drivera postavljeni su sa strane membrane, što zahtijeva značajnu snagu za proizvodnju zvuka. Vrpčasti driveri i membrane cijenjeni su zbog svoje točnosti, ali su poznati po niskim ocjenama osjetljivosti i učinkovitosti. Često se koriste uz zvučne jedinice s titrajnom zavojnicom kako bi pokrili cijeli zvučni frekvencijski raspon.

Elektrostatički driveri zvučnika rade poput elektrostatskih drivera za slušalice, ali u većem opsegu s povećanim zahtjevima za snagom. Te zvučne jedinice funkcioniraju na temelju elektrostatičkih principa, a imaju veliku, tanku, obično pravokutnu membranu koja je vodljiva cijelom svojom površinom. Membrana zahtijeva pozitivan naboj putem visokog istosmjernog prednapona ili robusnog elektretnog materijala. Postavljena je između dvije velike perforirane ploče statora i tvori kondenzator s paralelnim pločama. Da bi se osigurala izolacija, membrana i ploče su odvojene polugama duž svojih rubova. Specijalizirano pojačalo neophodno je za podizanje napona ciljanog zvučnog signala uz smanjenje struje kako bi se „kondenzator“ visoke impedancije kojeg stvaraju ploče statora mogao puniti. Kada se pojačani zvučni signal primijeni na ploče, jednaki i suprotni električni naboji razvijaju se preko statora u bilo kojoj točki. Kao posljedica toga, pozitivno nabijena membrana se povlači prema jednoj ploči, a gura je druga, što dovodi do oscilacija usklađenih s valnim oblikom zvuka. Ovo kretanje membrane stvara zvuk kroz elektrostatičku sondu zvučnika.

Zvučnici sa driverima s titrajnim željezom koriste vodljive zavojnice i elektromagnetske principe. Međutim, za razliku od dobro poznatih dinamičkih pokretača titrajne zavojnice, zavojnice u pretvornicima titrajnog željeza ostaju nepomične. Kada zvučni signal prolazi kroz zavojnicu, uzrokuje vibracije u magnetiziranom komadu metala, odnosno željezu. Ova metalna komponenta je ili povezana s namjenskom membranom ili funkcionira kao sama membrana. Ovaj način rada predstavlja rani i osnovni oblik zvučnika i na taj način funkcionirao je prvi zvučnik ikada proizveden. Međutim, ima ograničenja u pogledu propusnosti i točnosti. Isti princip rada slijede i balansirani armaturni driveri za slušalice.

Piezoelektrični zvučnici jedinstveni su po tome što nemaju tradicionalne membrane. Umjesto toga, pretvaraju električne zvučne signale u odgovarajuće mehaničke vibracije pomoću piezoelektričnih kristala. Ovi driveri se obično nalaze u biperima i služe kao visokotonci jeftinih zvučnika. Iako imaju ograničene mogućnosti proizvodnje zvuka, vrijedni su pažnje zbog svoje primjene. Kada se zvučni signal primijeni na piezoelektrični kristal, on stvara napon preko kristala. Ovaj napon uzrokuje deformaciju kristala dok njegove molekule teže električnoj ravnoteži i neutralnom naboju. Kada se deformira na zvučnim frekvencijama u rasponu od 20 Hz do 20 000 Hz, kristal vibrira, u interakciji s

okolnim medijem stvarajući zvučne valove. Dok piezoelektrični zvučnici imaju ograničenu kvalitetu zvuka, njihova pristupačnost i izdržljivost čine ih prikladnima za posebne namjene. Po istom principu rade i slušalice s koštanom vodljivošću.

Magnetostruktivni driveri zvučnika, slični piezoelektričnim driverima, oslanjaju se na deformaciju materijala za generiranje zvuka. Magnetostruktivna, svojstvo feromagnetskih materijala, uzrokuje promjenu oblika tijekom magnetizacije, proizvodeći karakteristično zujanje od 50 ciklusa u sekundi iz mrežnih transformatora. Ove robusne zvučne jedinice imaju više tankih magnetskih ploča složenih u jezgru, oko koje je namotana vodljiva zavojnica. Cijeli sklop je smješten unutar spremnika. Kada audio signal prolazi kroz zavojnicu, on stvara promjenjivo magnetsko polje koje se prenosi do jezgre. Lagana deformacija tankih ploča proizvodi zvučne valove. U nedostatku zvučnih signala, jezgra se vraća u svoj izvorni oblik. Ovakvi driveri često su primjereni za ultrazvuk, a s tehnološkim napretkom mogli bi postati trajna opcija za standardne zvučne jedinice.⁶⁸

4.5. Podjela zvučnika prema zvučničkim kutijama

Zvučnička kutija nije samo kutija u kojoj se nalaze zvučne jedinice zvučnika, ona osim toga igra ključnu ulogu u optimizaciji performansi zvučnika. To je šuplja struktura dizajnirana za proizvodnju zvučnih valova koje emitira zvučnik na prednjoj strani. Kućišta dolaze u različitim oblicima i veličinama, u rasponu od osnovnih zatvorenih kutija od iverice za male kućne stereo pretvarače do vrlo zamršenih sustava s unutarnjim pregradama, bas refleks priključcima i akustičnom izolacijom. Ova složena kućišta mogu primiti više zvučnih jedinica velike membrane za visokokvalitetno pojačanje zvuka za koncertne primjene. Važno je napomenuti da se zvučnička kutija razlikuje od kućišta zvučnika, koje sadrži druge komponente kao što su skretnice, pojačala, ulazi, izlazi i ekvalizator.

Zvučnik može biti ugrađen u otvorenu zvučničku kutiju, no većina takvih kutija ustvari nije potpuno otvorena, već često imaju gornje i donje ploče koje pokrivaju dio stražnje

⁶⁸ <https://mynewmicrophone.com/how-do-speakers-headphones-work-as-transducers/> Pristup: 10.10.2023.

strane. Ovakav dizajn dopušta da dio zvuka zrači sa stražnje strane i u manjoj mjeri sa lijeve i desne strane. Ovaj tip zvučničkih kutija imaju kvalitetu ispunjavanja prostora zvukom koji zvuči prirodno i otvoreno. Zbog takvog dizajna u kojem nema potpune stražnje strane prisutne su visoke frekvencije koje pružaju dovoljnu prisutnost zvuka. Na pozornici ova kvaliteta zvuka može biti povoljna kada nema monitora i tako može dodatno upotpuniti ukupan zvuk pozornice. U studijskom okruženju ovakve zvučničke kutije otvaraju mogućnost raznolikog postavljanja mikrofona.

Za razliku od zvučnika ugrađenih u otvorenim zvučničkim kutijama, zatvorene zvučničke kutije isključivo projiciraju zvuk prema naprijed, eliminirajući bilo kakvo prolijevanje ili curenje sa stražnje ili bočne strane. To poboljšava i pojačava srednjetonske i bas tonove, pružajući snažan niskotonjski učinak. Ova pojačana usmjerenost, osim ako niste direktno ispred, može biti izazovna za slušanje na pozornici, ali to može koristiti ljudima koji su zaduženi za postavke ozvučenja jer ne moraju upravljati difuznim zvukom kojeg stvaraju zvučnici u otvorenim zvučničkim kutijama.⁶⁹

Zvučnik ugrađen u zvučničku kutiju s bas refleksom sličan je tipičnom zatvorenom zvučniku, ali uključuje otvoreni tunel ili otvor koji omogućuje slobodno cirkuliranje zraka unutar i izvan kutije. Ovaj otvor značajno povećava učinkovitost niskotonca, posebno u niskofrekventnom području. Ova vrsta kućišta vrlo je popularna i smatra se najboljim izborom u usporedbi sa zatvorenim kućištima. Predstavlja neku vrstu optimalne točke za kućišta niskotonca, postižući pravu ravnotežu između učinkovitosti, proširenja niske razine i složenosti konstrukcije. Iako je konstrukcija bas refleksnog kućišta relativno jednostavna, njegovo projektiranje zahtijeva više truda, a sve pogreške u dizajnu mogu utjecati na konačni ishod.⁷⁰

⁶⁹ <https://celestion.com/blog/open-back-or-closed-back-cabinet-which-is-for-me/> Pristup: 10.10.2023.

⁷⁰ <https://audiojudgement.com/bass-reflex-speaker-design/> Pristup: 10.10.2023.

5. SLUŠALICE

5.1. Povijesni razvoj slušalica

Prvi patent elektrodinamičkog pretvarača 1878. godine označio je početak zvučnika. Postalo je jasno da osobno uživanje može smetati drugima, što je dovelo do brzog razvoja tehnologija uređaja za individualnog slušatelja. Telefonski operateri 1880-ih koristili su pojedinačne slušalice, dopuštajući da više ljudi sluša različit zvuk istovremeno. Slušalice za osobnu upotrebu pojavile su se 1890-ih nakon što je tvrtka *Electrophone* korisnicima opernih kuća u Londonu pružila slušalice kako bi preko njih mogli slušati glazbu. Za razliku od modernih slušalica, ovi prvi uređaji nisu se nosili na glavi zbog njihove velike težine. Slušalice telefonskih operatera bile su teške preko 4 kilograma, naslonjene na ramena korisnika, a *Electrophone*ov uređaj više je podsjećao na liječnički stetoskop nego na današnje kompaktne slušalice.

Američki izumitelj Nathaniel Baldwin stvorio je prve prepoznatljive slušalice, poznate kao „Radio Head-Set“, s naglavcima za uši povezanim trakom za glavu, dizajn koji se koristi i danas. Baldwin je poslao prototip američkoj mornarici, koja je htjela naručiti više, ali je mogao proizvesti samo ograničene količine u svojoj kuhinji. Odbio je patentirati svoj dizajn, uzrokujući brojne kopije i financijske poteškoće.

Značajna inovacija slušalica dogodila se u Njemačkoj 1924. godine kada je inženjer Eugen Beyer osnovao *Elektrotechnische Fabrik Eugen Beyer* u Berlinu. Do 1937. tvrtka *Beyerdynamic* predstavila je prve dinamičke slušalice na svijetu, DT 48, nadmašivši Baldwinove „Radio Head-Set“ slušalice i kvalitetom zvuka i glasnoćom. Zadržavajući Baldwinov osnovni dizajn, *Beyerdynamic* je značajno poboljšao udobnost. Inovacija DT 48 bila je toliko revolucionarna da se nastavlja proizvoditi i danas, uz male modifikacije za poboljšanje kvalitete zvuka.

U 1950-ima, osobni užitek u slušanju doživio je novu eru zahvaljujući rastućim prihodima, stereo izumu i uvođenju gramofonskih ploča. Godine 1958. američki jazz glazbenik John Charles Koss predstavio je prve stereo slušalice, SP/3, obećavajući iskustvo blisko glazbi uživo. Jedan od izazova bilo je povezivanje ovih slušalica s kućnim

stereo sustavima, koji u to vrijeme nisu imali namjenske izlaze za slušalice. Koss je odigrao ključnu ulogu uvjerivši proizvođače zvuka da počnu uključivati standardizirane priključke za slušalice.

Tijekom 1950-ih pojavili su se i prijenosni zvučnici na baterije. Prvi tranzistorski radio za osobnu upotrebu razvili su tvrtke *Texas Instruments* i *Industrial Development Engineering Associates* 1954. godine, zamijenivši glomazne vakuumske cijevi koje su se koristile u kućnim radijima. Ova je tehnologija učinila zvučne sustave dovoljno malima da se mogu prenositi. Međutim, ti tranzistorski radijski uređaji u početku nisu bili dizajnirani za rad sa slušalicama pa je tako bilo potrebno još vremena i strpljenja da se povežu izum takvih manjih uređaja i slušalica kako bi taj zaokret kod slušanja glazbe bio potpun.

U 1970-ima došao je i taj trenutak kada način slušanja glazbe doživljava zaokret. Uloga slušalica više nije bila samo kao alat na radnom mjestu, već postaju uređaji za osobno uživanje u glazbi, nudeći hi-fi kvalitetu zvuka bez ometanja drugih. *Sonyjev* Walkman, predstavljen 1979., odvojio je slušalice od kućnih stereo sustava, omogućujući ljudima privatno uživanje u glazbi bilo gdje. Prije toga, radio kasetofoni, popularni do 1977., davali su prijenosni zvuk, ali su bili veliki i dizajnirani za grupnu upotrebu. Walkman je to promijenio omogućivši privatno uživanje u glazbi na otvorenom uz lagane slušalice i prijenosni kasetofon. Iako kvaliteta zvuka nije bila savršena, korisnicima je omogućila privatno uživanje u glazbi. Sljedeća dva desetljeća trkači i putnici na posao bili su ograničeni na pojedinačne kasete ili radio, postajući intimno upoznati sa svojim omiljenim albumima. U kasnim 90-ima pojavili su se MP3 playeri koji su korisnicima omogućili pohranu više albuma za prijenosnu reprodukciju. *Appleov* iPod, objavljen 2001. godine, napravio je revoluciju u slušanju glazbe sa svojim sučeljem jednostavnim za korištenje i elegantnim slušalicama, zamijenivši slušalice prekrivene pjenom. Unatoč tome što nisu nudile zvuk visoke vjernosti, ove su slušalice bile prijenosne, moderne i nagovještavale su dolazak ere digitalne glazbe.

Slušalice su dominirale prijenosnom glazbom cijelo desetljeće sve dok nije došlo do oživljavanja tradicionalnih slušalica u kasnim 2000-ima. Velike slušalice, koje podsjećaju na stereo slušalice iz hi-fi ere, ponovno su se pojavile u raznim stilovima i bojama. Ove slušalice, puno veće od Walkmanovih slušalica, kombinirale su dobar zvuk s modom.

Ovaj trend otvorio je vrata širokom spektru stilova slušalica namijenjenih javnom nošenju, što je dovelo do revolucije prijenosnog zvuka. Audio tvrtke diljem svijeta počele su proizvoditi slušalice u različitim veličinama i dizajnima, uključujući slušalice koje se stavljaju u uši, na ušima i na ušima, nudeći različite zvučne potpise, od prozirnih do jakih basova. Potrošači sada imaju izbor između žičnih i bežičnih verzija koje koriste Bluetooth. Valja spomenuti i pojavu slušalica s tehnologijom aktivne kontrole buke koje korisniku osiguravaju nesmetano uživanje u glazbi blokiranjem vanjske buke.⁷¹

5.2. Slušalice i njihove značajke

Slušalice su elektroakustički uređaji, koje možemo gledati i kao male zvučnike za glavu, koji djeluju kao pretvarači koji zvučne signale, tj. električnu energiju pretvaraju u zvučne valove, tj. energiju mehaničkih valova. Zvučna jedinica (driver) slušalica reagira na zvuk putem elektromagnetskih, elektrostatičkih ili piezoelektričnih principa i uzrokuje pomicanje membrane, a što u konačnici proizvodi i sam zvuk koji čujemo. Koriste se u komunikacijskim sustavima za jasnu informaciju i u reprodukciji zvuka s visokom kvalitetom, a omogućuju nam privatno slušanje, za razliku od zvučnika koji otvoreno projiciraju zvuk. Postoje različite vrste slušalica, poput cirkumauralnih (*over-ear*) koje pokrivaju cijelu ušnu školjku i supra-auralnih (*on-ear*) koje se naslanjaju izravno na ušnu školjku. Kod prijenosnih uređaja najčešće se koriste manje slušalice koje se stavljaju izravno u ušni kanal (*in-ear*) ili imaju gumom obrubljene umetke (*earbuds*). Slušalice mogu biti zatvorene i izolirane od buke ili otvorene za vezu s okolinom. Najčešće se koriste dinamički pretvarači, ali postoje i kondenzatorske slušalice te minijaturne slušalice s armaturnim pretvaračima za umetanje. Iako nude linearnu reprodukciju, dugotrajno nošenje može uzrokovati umor zbog percepcije zvuka u glavi, a visoki zvučni tlak može trajno oštetiti sluh.⁷²

⁷¹ <https://blog.teufelaudio.com/the-history-of-headphones-and-the-beginnings-of-portable-sound/>
Pristup: 07.10.2023.

⁷² <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=56723> Pristup: 07.10.2023.

Slušalice se u praksi priključuju i povezuju s uređajima poput pojačala, radija, telefona, igračih konzola, glazbenih instrumenata i ostalih raznih vrsta prijenosnih reproduktora. Povezuju se najčešće na dva načina, putem kabela čiji priključak iznosi 3.5 cm ili 6.3 cm, a danas dosta popularni način, posebice kod manjih slušalica je spajanje putem Bluetooth tehnologije koja omogućava prijenos zvuka s uređaja poput mobilnog telefona ili računala. Slušalice u sebi mogu imati i integrirani mikrofoni čiji je engleski naziv *headset*, a njih uglavnom koriste korisnici poput audio inženjera, zaposlenika javnih centara i profesionalni igrači videoigara za komunikaciju s drugima.

Osim što se slušalice dijele prema gore navedenim kategorijama, svaku od njih razlikuju i njihove akustičke karakteristike. Važne karakteristike na koje bi trebalo pripaziti kod izbora slušalica su frekvencijski raspon, impedancija, promjer drivera, osjetljivost i distorzija.

Frekvencijski raspon kod slušalica, mjereno u hercima, označava raspon zvučnih frekvencija koje slušalice mogu reproducirati, pri čemu manji brojevi predstavljaju bas, a viši visoke tonove. Tipičan raspon je od 20 do 20,000 Hz što odgovara ljudskom sluhu. Iako ovi brojevi ne označavaju točno kvalitetu zvuka, oni pomažu u odabiru slušalica prikladnih za određene vrste glazbe. Na primjer, ako korisnik traži slušalice za glazbu u kojoj ima puno basa, odluka će pasti na slušalice s podrškom za niske frekvencije basa. Neke slušalice mogu reproducirati frekvencije izvan standardnog raspona (5Hz do 40kHz), poboljšavajući iskustvo slušanja dodavanjem dubine. Međutim, treba uzeti u obzir ograničenja glazbenih izvora koji često koriste komprimirane datoteke, ograničavajući frekvencijski raspon na 20,000 Hz. Za većinu situacija dovoljne su slušalice unutar raspona od 20 Hz do 20 kHz. Za audiofile s oštrim sluhom proširene specifikacije su korisne, iako vanjska buka, posebno na javnim mjestima, može utjecati na iskustvo slušanja.

Impedancija, mjerena u ohmima, označava električni otpor u slušalicama. Veća impedancija znači veći otpor što znači da je potrebno više energije za rad slušalica. Mobilne slušalice obično imaju nisku impedanciju (ispod 32 ohma) i zahtijevaju manje energije, dok vrhunske slušalice imaju visoku impedanciju (iznad 120 ohma) i zahtijevaju namjenska pojačala. Slušalice s nižom impedancijom koriste niži napon, ali veću struju,

što može uzrokovati pozadinsko šuštanje. Neusklađenost impedancije, poput upotrebe slušalica visoke impedancije s pametnim telefonima, može dovesti do problema. Većina modernih uređaja kompatibilna je sa slušalicama niske impedancije (manje od 100Ω), dok se slušalice visoke impedancije (250Ω i više) uglavnom koriste za visokokvalitetne zvučne sustave i specijalizirane aplikacije poput uređivanja videa.

Driver (zvučna jedinica), koji se sastoji od magneta, zavojnica i membrane, ključan je za pretvaranje električnih signala u čujne zvučne valove. Veći driveri, često 40 mm ili više, općenito daju bolju kvalitetu zvuka, posebno za bas tonove. Za over-ear slušalice preporučuje se driver od 40 mm ili veći. In-ear slušalice mogu koristiti pristup „dvostruke zvučne jedinice“, upotrebljavajući zasebne drivere za različite rasponne zvuka. Osim toga, materijal konektora, poput nehrđajućeg čelika ili zlata, utječe na kvalitetu električne vodljivosti. Dakle, veličina drivera i materijal konektora ključni su čimbenici pri odabiru slušalica jer značajno utječu na kvalitetu zvuka i performanse.

Osjetljivost i razina zvučnog tlaka dva su međusobno povezana pojma koja se koriste u specifikacijama slušalica kako bi naznačili koliko glasan zvuk slušalice mogu proizvesti. Osjetljivost se odnosi na učinkovitost pretvaranja električnog signala u zvuk, dok je razina zvučnog tlaka mjera osjetljivosti, često izražena kao decibela SPL-a po milivatu (dB/mW). Većina slušalica spada u raspon od 85-120 dB/mW SPL. U praksi, redoviti gradski promet proizvodi oko 80 dB, glasna vika je oko 105 dB, a mlažnjak pri uzlijetanju može doseći 130 dB. Procjenjuje se da je prag boli uzrokovane bukom oko 120 dB, a poznato je da produljena izloženost razinama SPL-a iznad 85 dB dovodi do rizika od gubitka sluha. Osjetljivost je vitalna jer pomaže odrediti kako prilagoditi glasnoću i kako je glasnoća povezana s naponom. Izražava se u decibelima po naponu (dB/V) i izravno je povezana s frekvencijom. Na primjer, da biste povećali glasnoću za 6 dB potrebno je udvostručiti napon. Osjetljivost također utječe na glasnoću u pogledu otpora. Veća osjetljivost i manji otpor rezultiraju većom glasnoćom, iako to može unijeti dodatnu buku koja je obično čujna kada nema glazbe. Ipak, slušalice s većom osjetljivošću općenito se smatraju glasnijima.

Posljednja u nizu bitnih karakteristika slušalica je količina distorzije, tj. harmonijskog izobličenja i zaštita od vanjske buke te se dijele na izolaciju od buke i poništavanje buke. Harmonijsko izobličenje mjeri izobličenje zvuka, posebno pri velikim glasnoćama, kada

membrana ne može dovoljno brzo titrati. Niže harmonijsko izobličenje, često ispod 1% u vrhunskim proizvodima, označava bolju kvalitetu.

Buku kod slušalica možemo izolirati ili ukloniti. Izolacija buke je mogućnost blokiranja vanjskih zvukova i možemo ju naći u on-ear, zatvorenim over-ear i in-ear slušalicama. Pravilno postavljanje i nošenje, posebno sa in-ear slušalicama, poboljšava izolaciju. Taj sustav izolacije buke je pasivan, učinkovit na svim frekvencijama i ne treba mu vanjsko napajanje. Uklanjanje buke je mogućnost hvatanja vanjskog zvuka generiranjem povratnog vala putem ugrađenih mikrofona i DSP mikročipa. Moćan je za niske frekvencije, manje za srednje, a neučinkovit za visoke frekvencije. Za uklanjanje buke obično je potrebna baterija, a njezina učinkovitost može varirati.⁷³

⁷³ <https://soundsightheadphones.com/guides/high-quality-headphones-characteristics/> Pristup: 08.10.2023.

5.3. Tipovi slušalica i njihova namjena

Pri kupnji novih slušalica, možete birati između tri glavne kategorije, a svaka od njih ima svoje prednosti i nedostatke. Tri glavne kategorije su slušalice za in-ear, on-ear i over-ear.

In-ear slušalice, također poznate kao earbuds, danas su u širokoj upotrebi zbog svoje kompaktne veličine i mogućnosti prenosivosti. Stavljaju se unutar ušnog kanala, omogućavajući dobro pristajanje većini korisnika, a u nekim dizajnim in-ear slušalica možemo vidjeti i trake koje se omotavaju oko ušiju radi stabilnosti tokom neke konkretnije aktivnosti. Što se tiče udobnosti in-ear slušalica, iskustva su podijeljena, nekima će biti udobne, a nekima čak i iritantne, posebice nakon slušanja glazbe satima bez prekida. In-ear slušalice imaju manje zvučne jedinice (drive) što ograničava njihovu sposobnost da proizvedu isti frekvencijski raspon, a samim time i raspon zvuka kao on-ear ili over-ear slušalice. Glazbu isporučuju izravno u bubnjić što rezultira manje prostranim i ne baš otvorenim zvukom u usporedbi s drugim vrstama slušalica. Unatoč ovim ograničenjima, danas postoje kvalitetne in-ear slušalice te se njihova prenosivost ne može usporediti s drugim tipovima slušalica.



Slika 6: In-ear slušalice

<https://mi.hr/mi-in-ear-headphones-basic->

(Pristup: 09.10.2023.)

On-ear slušalice su vrsta slušalica koje se postavljaju izravno na uši. Predstavljaju vrstu slušalica koje pružaju balans između prenosivosti i kvalitete zvuka. Imaju manje

ušne čašice od over-ear slušalica, a često su dizajnirane na način da se mogu sklopiti radi lakšeg transporta i spremite u zaštitnim futrolama s kojim dolaze. Iako možda ne nude toliku izolaciju od buke kao over-ear slušalice, ostaju hladnije zbog bolje cirkulacije zraka. U usporedbi sa in-ear slušalicama, znatno su udobnije, omogućujući dugotrajno slušanje bez nelagode. On-ear slušalice također se mogu pohvaliti većom zvučnom jedinicom (driverom), omogućavajući reprodukciju šireg raspona frekvencija, a također i širu zvučnu sliku, što ih u usporedbi s in-ear slušalicama po tom pitanju čini preferiranim izborom unutar sličnog cjenovnog razreda.



Slika 7: On-ear slušalice

<https://www.beatsbydre.com/headphones/solo3-wireless>

(Pristup: 09.10.2023.)

Audio entuzijasti preferiraju over-ear stil slušalica, koje se stavljaju preko uha, zbog vrhunske kvalitete zvuka. Smatraju se najprodavanijom i najudobnijom vrstom slušalica. Ova vrsta slušalica idealna je za uredsku ili kućnu upotrebu, ali iako se neki modeli mogu sklopiti i isporučuju s putnim torbicama, nisu lako prenosive zbog svoje masivnosti. Over-ear slušalice u potpunosti pokrivaju uši i tako osiguravaju udobnost tijekom dulje upotrebe. Neki vrhunski modeli mogu biti teški pa bi trebalo pripaziti kakvu traku i ušne jastučiće posjeduju. Ove slušalice su opremljene najvećim zvučnim jedinicama (driverima), nude širok raspon frekvencija, dajući glatke visoke tonove i duboke basove tako da je kvaliteta zvuka neupitna. Pri izboru over-ear slušalica, postoji mogućnost biranja između slušalica s otvorenim ili zatvorenim stražnjim dijelom. Zatvorene slušalice pružaju bolju izolaciju buke i sprječavaju da se glazba čuje van njih dok slušalice s otvorenim stražnjim dijelom nisu tako učinkovite u izolaciji buke, ali zato nude širu zvučnu sliku i prostranije iskustvo slušanja, poput kvalitetnih zvučnika.



Slika 8: Over-ear slušalice

<https://www.soundguys.com/best-over-ear-headphones-18379/>

(Pristup: 09.10.2023.)

Ako bi sumirali sve značajke i karakteristike svake vrste slušalica, bilo bi praktično imati različite vrste slušalica za različite situacije. In-ear slušalice idealne su za teretanu ili šetnju zbog svog udobnog pristajanja i prenosivosti. Često imaju poništavanje buke i ambijentalni prolaz koji omogućuje prodiranje zvuka izvana, kako bi čovjek konstantno bio osviješten o onome što se događa pokraj njega. S druge strane, on-ear slušalice postižu ravnotežu između prenosivosti i kvalitete zvuka što ih čini prikladnima za svakodnevna putovanja na posao i uredsku upotrebu. Nude bolju kvalitetu zvuka i udobnost za dulju upotrebu u usporedbi sa in-ear slušalicama. Završno, over-ear slušalice pružaju vrhunsku kvalitetu zvuka i udobnost što ih čini izvrsnim za impresivna glazbena iskustva kod kuće i u studiju. Zatvoreni dizajni više odgovaraju slušanju u zajedničkim prostorima, dok otvoreni dizajni over-ear slušalica nude vrhunski zvuk u privatnosti kada se maksimalno može uživati u glazbi. Svaka vrsta ima svoje mjesto, osiguravajući prilagođeno glazbeno iskustvo za svaku situaciju.⁷⁴

⁷⁴ <https://www.audioadvice.com/videos-reviews/in-ear-vs-on-ear-vs-over-ear-headphones/> Pristup: 09.10.2023.

6. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je upoznati se s poviješću i načinima snimanja i reprodukcije glazbe. Pregledavajući po bazama u knjižnici i internetskim pretraživanjem primijećeno je da nedostaju ovakve vrste radova u kojima je prikazan cjelokupni aspekt glazbenog snimanja i reproduciranja glazbe. Iako nastavni plan i program Glazbene kulture i Glazbene umjetnosti nema puno doticaja s ovakvom temom, uključivanje ovakvih razrada u kombinaciji teorijskog i praktičnog rada zainteresiralo bi mlađu populaciju za daljnje upoznavanje i razvijanje u tom smjeru. Odvajanjem barem nekoliko sati uz kvalitetnu razradu nastave učenicima bi otvorilo jednu drugu dimenziju glazbe, a kvalitetnom korelacijom dodatno zainteresiralo za samu glazbu. Nastavno na rečeno, kako bi se takve ideje mogle ostvariti potrebno je imati i osiguranu kvalitetniju opremu jer korištenje manje kvalitetne opreme pri reprodukciji glazbe u nastavi Glazbene umjetnosti i Glazbene kulture može imati negativni efekt. Postoji mogućnost da se pri slušanju neke glazbene izvedbe zbog npr. zvučnika koji ne mogu reproducirati cijeli frekvencijski i dinamički opseg glazbe neće čuti svi bitni detalji izvedbe. Eventualna unesena izobličenja prilikom reprodukcije mogu smanjiti sam doživljaj glazbe, pa čak i izazvati negativne emocije i loš sud o kvaliteti neke skladbe ili izvođača. Zato je važno koristiti što je moguće kvalitetniju opremu u nastavi, onakvu kakvoj učenici uglavnom nemaju pristupa u svojim domovima, a sami taj susret s nečim novim i posebnim dodatno bi pobudio zanimaciju, a nekoga možda i usmjerio u daljnje obrazovanje u danas možda nedovoljno zastupljenoj, ali vrlo bitnoj sferi glazbe i njezine kreacije.

7. BIBLIOGRAFIJA

Alten, S. R. (2013). *Audio in Media*. Cengage Learning

Corbett, I. (2015). *Mic It!*. New York: Focal Press

Holland, K., Newell, P. (2019). *Loudspeakers: For music recording and reproduction*. New York: Routledge

Ashbourn, J. (2021). *Audio Technology, Music, and Media*. Springer

Brixen, E. B. (2020). *Audio Metering*. New York: Routledge

MREŽNI IZVORI:

<http://mz.nsk.hr/zbirka78/o-fonografiji/edison-bell-penkala/> (Pristup: 06.09.2023.)

<http://www.edubilla.com/invention/graphophone/> (Pristup: 06.09.2023.)

<https://acousticfrontiers.com/blogs/articles/speaker-directivity-off-axis-response-theory-and-measurement-techniques> (Pristup: 10.10.2023.)

<https://audiojudgement.com/bass-reflex-speaker-design/> (Pristup: 10.10.2023.)

<https://blog.teufelaudio.com/the-history-of-headphones-and-the-beginnings-of-portable-sound/> (Pristup: 07.10.2023.)

<https://celestion.com/blog/open-back-or-closed-back-cabinet-which-is-for-me/>
(Pristup: 10.10.2023.)

<https://dosits.org/science/advanced-topics/how-does-sound-move-wave-propagation-and-huygens-principle/> (Pristup: 03.10.2023.)

<https://ehomerecordingstudio.com/best-ribbon-mics/> (Pristup: 25.09.2023.)

<https://ethos3.com/the-history-of-the-microphone/> (Pristup: 11.09.2023.)

<https://historyofrecordingblog.wordpress.com/24-2/> (Pristup: 07.09.2023.)

<https://historyofrecordingblog.wordpress.com/the-digital-era/> (Pristup: 07.09.2023.)

<https://mynewmicrophone.com/complete-guide-to-microphone-frequency-response-with-mic-examples/> (Pristup: 23.09.2023.)

<https://mynewmicrophone.com/do-microphones-need-power-to-function-properly> (Pristup: 05.09.2023.)

<https://mynewmicrophone.com/how-do-speakers-headphones-work-as-transducers/> (Pristup: 10.10.2023.)

<https://mynewmicrophone.com/mic-history-who-invented-each-type-of-microphone-and-when/> (Pristup: 11.09.2023.)

<https://mynewmicrophone.com/microphone-impedance/> (Pristup: 05.09.2023.)

<https://mynewmicrophone.com/microphone-impedance/> (Pristup: 20.09.2023.)

<https://mynewmicrophone.com/microphone-sensitivity/> (Pristup: 22.09.2023.)

<https://mynewmicrophone.com/moving-coil-dynamic-microphone/> (Pristup: 05.09.2023.)

<https://mynewmicrophone.com/moving-coil-dynamic-microphone/> (Pristup: 09.05.2023.)

<https://mynewmicrophone.com/the-complete-guide-to-ribbon-microphones-with-mic-examples/> (Pristup: 25.09.2023.)

<https://mynewmicrophone.com/top-5-microphone-specifications-you-need-to-understand/#Maximum-Sound-Pressure-Level> (Pristup: 25.09.2023.)

<https://mynewmicrophone.com/what-does-presence-mean-in-terms-of-microphones/> (Pristup: 11.09.2023.)

<https://mynewmicrophone.com/what-is-a-condenser-microphone-detailed-answer-examples/> (Pristup: 26.09.2023.)

<https://recording-history.org/history-of-digital-recording/> (Pristup: 07.09.2023.)

<https://riverside.fm/blog/dynamic-microphone-vs-condenser> (Pristup: 05.09.2023.)

<https://royerlabs.com/r-121/> (Pristup: 11.09.2023.)

<https://soundbridge.io/carbon-microphones/> (Pristup: 11.09.2023.)

<https://soundgenetics.com/the-history-of-the-speaker/> (Pristup: 05.10.2023.)

<https://soundsightheadphones.com/guides/high-quality-headphones-characteristics/>
(Pristup: 08.10.2023.)

<https://splice.com/blog/how-do-speakers-work/> (Pristup: 10.10.2023.)

<https://support.klipsch.com/hc/en-us/articles/360025619391-Speaker-Sensitivity>
(Pristup 10.10.2023.)

<https://time.graphics/period/1367189> (Pristup: 07.09.2023.)

<https://tl.lzmk.hr/Clanak/2815> (Pristup: 03.10.2023.)

<https://vocalist.org.uk/what-is-phantom-power#h-a-brief-history-of-phantom-power>
(Pristup: 25.09.2023.)

<https://www.audioadvice.com/videos-reviews/in-ear-vs-on-ear-vs-over-ear-headphones/>
(Pristup: 09.10.2023.)

<https://www.audiostance.com/what-are-speaker-drivers-how-do-they-differ/>
(Pristup: 10.10.2023.)

<https://www.audio-technica.com/en-us/support/a-brief-guide-to-microphones-what-a-microphone-does/> (Pristup: 11.09.2023.)

<https://www.audiotechnology.com/tutorials/condenser-microphones>
(Pristup: 11.09.2023.)

<https://www.audiotechnology.com/tutorials/dynamic-microphones> (Pristup: 11.09.2023.)

<https://www.audiovisual.ie/history-science-microphone/> (Pristup: 09.09.2023.)

<https://www.britannica.com/technology/magnetic-recording> (Pristup: 07.09.2023.)

<https://www.britannica.com/technology/sound-recording> (Pristup: 03.09.2023.)

<https://www.britannica.com/topic/music-recording/The-development-of-musical-recording> (Pristup: 06.09.2023.)

<https://www.dpamicrophones.com/mic-university/the-basics-about-distortion-in-mics>
(Pristup: 22.09.2023.)

<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=1265> (Pristup: 03.10.2023.)

<https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=40749> (Pristup: 05.09.2023.)

<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=56723> (Pristup: 07.10.2023.)

<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=66042> (Pristup: 07.09.2023.)

<https://www.firstsounds.org/sounds/scott.php> (Pristup: 06.09.2023.)

<https://www.fremdwort.de/suchen/bedeutung/schallquelle> (Pristup: 03.10.2023.)

<https://www.gear4music.com/blog/sm58-day/> (Pristup: 11.09.2023.)

<https://www.hifireport.com/speaker-impedance/> (Pristup: 10.10.2023.)

<https://www.lewitt-audio.com/blog/polar-patterns> (Pristup: 20.09.2023.)

<https://www.loc.gov/collections/national-jukebox/articles-and-essays/acoustical-recording/> (Pristup: 07.09.2023.)

<https://www.musicradar.com/how-to/explainers-how-a-ribbon-microphone-works>
(Pristup: 11.09.2023.)

<https://www.premierguitar.com/on-track-the-venerable-beyerdynamic-m-160-mic>
(Pristup: 11.09.2023.)

<https://www.prosoundweb.com/ribbon-mics-for-live-adding-another-dimension/>
(Pristup: 25.09.2023.)

<https://www.rtings.com/speaker/tests/sound/frequency-response-accuracy>
(Pristup: 10.10.2023.)

<https://www.shure.com/en-US/performance-production/louder/what-is-dualdyne-understanding-the-shure-ksm8> (Pristup: 11.09.2023.)

<https://www.stgregoryschool.co.uk/wp-content/uploads/2021/02/Oak-26.2.21-Acoustic-Telephone.pdf> (Pristup: 09.09.2023.)

<https://www.thebroadcastbridge.com/content/entry/8667/ribbon-microphones-make-a-full-circle-in-audio-history> (Pristup: 11.09.2023.)

<https://www.the-home-cinema-guide.com/speaker-power-rating.html>

(Pristup: 10.10.2023.)