

ANALIZA AKUSTIČNIH BUBNJEVA U FREKVENCIJSKOM RASPONU

Puškaric, Viktor

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:388437>

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

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



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

VIKTOR PUŠKARIĆ

**ANALIZA AKUSTIČNIH BUBNJEVA U
FREKVENCIJSKOM RASPONU**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2023.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

VIKTOR PUŠKARIĆ

**ANALIZA AKUSTIČNIH BUBNJEVA U
FREKVENCIJSKOM RASPONU**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: dr. sc. Vladimir Tudić, prof. struč. stud.

KARLOVAC, 2023.

Karlovac University Of Applied Sciences
Department Of Mechanical Engineering
Professional study of Mechatronics

VIKTOR PUŠKARIĆ

**ANALYSIS OF ACOUSTIC DRUMS IN THE
FREQUENCY RANGE**

UNDERGRADUATE THESIS

KARLOVAC, 2023.

IZJAVA

Izjavljujem da sam svoj rad izradio samostalno pomoću stečenog znanja tijekom studija, stručne literature i interneta. Izrada ovog završnog rada omogućila mi je produblјivanje znanja o fizikalnim svojstvima zvuka i njegovoj analizi. Kroz proces istraživanja, snimanja i analize različitih vrsta bubnjeva, stekao sam vrijedna iskustva u primjeni metoda i tehnologija za snimanje i analizu zvuka. Ovaj rad je bio izazovno, ali istovremeno i vrlo korisno iskustvo koje će mi zasigurno biti od velike pomoći u budućim radovima u ovom području.

Htio bih izraziti svoju zahvalnost svima koji su mi pomogli u izradi ovog završnog rada. Posebno se želim zahvaliti svom mentoru dr. sc. Vladimir Tudić, prof. struč. stud. na strpljenju, vodstvu i korisnim savjetima tijekom cijelog procesa. Također želim zahvaliti svojoj obitelji koja me uvijek podržava u mojim nastojanjima.

SAŽETAK

U ovom radu provodila se analiza frekvencijskog raspona različitih vrsta bubnjeva i korištenja raznolikih činela kao akustičkih aktuatora te se razmatrao utjecaj različitih tehnika sviranja na frekvencijski raspon proizvedenog zvuka. Mjerenja zvuka su obavljena pomoću programa - softvera za snimanje audiozapisa. Rad je podijeljen na uvodni, teoretski i praktični dio u kojima su objašnjeni postupci snimanja zvuka bubnjeva. U uvodnom dijelu opisuje se povijest bubnjeva te njihov utjecaj u današnjem vremenu. Teorijski dio sadrži opis različitih dijelova bubnja i mikrofona, kao i vrste mikseta. U istom dijelu, frekvencija je prikazana grafički te je objašnjeno njeno značenje kroz definiciju i formule. U praktičnom dijelu se opisuju različiti postupci snimanja zvuka bubnja, analiza dobivenih frekvencijskih grafova te na kraju njihova korelacija.

Ključne riječi: bubnjevi, frekvencija, mikrofoni, mjerenje, softver, analiza, korelacija

SUMMARY

In this thesis, was performed an analysis of the frequency spectrum on different types of drums and by using various cymbals, as well as the impact of different playing techniques on the frequency spectrum of sound. Measurements were conducted using audio recording software. Thesis is divided into an introductory, theoretical and practical part, in which the procedures are explained for recording drum sounds. The introductory describes the history of drums and their influence on today's world. The theoretical part contains descriptions of different parts of drums and microphones, as well as different kinds of audio mixers. In the same thesis part, the frequency was shown through the graph and has been described with definitions and formulas. The practical part describes different processes of recording drum sounds, analyzing and comparing different frequency graphs.

Keywords: drums, frequency, microphone, measurement, software, analysis, correlation

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. TEORETSKI DIO	2
2.1. Bubnjevi	2
2.2. Mikrofon	4
2.3. Dinamički mikrofon	5
2.4. Kondenzatorski mikrofon	6
2.5. Usmjerenost mikrofona	7
2.6. Mikseta	10
2.7. Analogna mikseta	11
2.8. Digitalna mikseta	12
2.9. Frekvencija	13
2.10. Slijedivost metode snimanja muzičkih instrumenata	14
2.11. Metoda za procjenu dinamike membrane bubnja	15
3. PRAKTIČNI DIO	16
3.1. Bubanj i oprema za snimanje	16
3.2. Bas bubanj	17
3.3. Doboš	20
3.4. High tom bubanj	22
3.5. Floor tom bubanj	24
3.6. Hi-hat činela	26
3.7. Crash činela	28
3.8. Ride činela	30
4 ZAKLJUČAK	32
5 LITERATURA	33
6 PRILOZI	35

1. UVOD

Bubnjevi su jedni od najstarijih glazbenih instrumenata koji su se koristili još u drevnim civilizacijama poput Egipćana, Grka i Rimljana. U početku su se koristili za vojne ceremonije i komunikaciju između vojski. U vrijeme mira njegova je namjena sasvim drugačija, pa su uz bubanj plesači mogli izvoditi svoje pjesme i plesove. Afrički tam-tam bubanj se koristio u signalne svrhe za slanje poruka na velike daljine. Sličnu ulogu imao je i balkanski dobošar, koji je lupanjem po dobošu privlačio pozornost stanovnika i čitao novosti. Akustične bubnjeve kao komplet bubnjeva prvi put se susreću u kazalištima, u Velikoj Britaniji 1700-ih godina. Na početku razvijanja glazbala, bubnjari su svirali svoj instrument rukama. Prvi izum koji olakšava sviranje bubnjeva bila je pedala za bas bubanj. Izumio ju je William F. Ludwig 1909. godine. "Hi-hat" činela primjenjuje se u kompletu od 1926. godine. Populacija bubnjeva raste pojavom rock and rolla. Član benda The Beatles, Ringo Starr pojavio se na poznatoj američkoj televiziji svirajući Ludwigov komplet bubnjeva. Tom pojavom se dogodio najveći razvoj bubnjeva u povijesti [1]. Danas su bubnjevi osnova u jazzu, bluesu, rock and rollu i drugim popularnim glazbenim žanrovima. Bubnjevi su važan dio gotovo svake glazbene produkcije i koncerta, a mnogi glazbenici postižu veliki uspjeh upravo zbog svog virtuoznog sviranja bubnjeva.

2. TEORETSKI DIO

U ovom teorijskom dijelu, fokusira se na različite vrste bubnjeva i mikrofona. Također će se opisati definicije miksete te frekvencije i načine na koje se koriste u glazbenoj produkciji.

2.1. Bubnjevi

Bubnjevi su važan dio gotovo svake glazbene produkcije i pružaju ritmički temelj za ostatak glazbe. Danas postoje različiti tipovi bubnjeva, a najosnovnija podjela je na akustične bubnjeve i električne bubnjeve. Osnovni set bubnjeva čine bas bubanj, doboš, tom bubnjevi i tri osnovne činele: nožna (hi-hat), vodeća (ride) i rasprskavajuća (crash) [2]. Svaki element ima svoj frekvencijski raspon i karakterističan zvuk. Bas bubanj (engl. bass drum) je instrument s najnižim tonom koji daje temelj ritmici. Općenito se svira desnom nogom. Zvuk se stvara udaranjem batića po koži koja je postavljena na veliki cilindrični bubanj. Doboš (engl. snare drum) je osnovni dio bubnjeva. Smješten je u centru bubnjarskog kompleta. Uobičajeno se svira lijevom rukom i obuhvaća širok frekvencijski raspon, od srednjih do visokih frekvencija. Zvuk se dobije udaranjem palicama po koži, ispod koje se nalazi mrežica sastavljena od žica koje vibriraju i tako se dobiva specifičan zvuk. Tom (engl. tom-tom drum) je dio bubnjeva koji proizvodi srednje niske i srednje frekvencije, ovisno o veličini bubnja. Način sviranja je isti kao i kod „doboša“. Tom bubnjevi pričvršćeni su na rampu iznad doboša. Najveći tom bubanj je duboki tom (eng. floor tom), koji samostalno stoji, bez rampe. Činele su posljednji važan element kompleta bubnjeva. Sviramo ih palicama, a njihova svrha je održavanje ili naglašavanje ritma. Kod svih činela superiorne su visoke frekvencije, a s obzirom na oblik i veličinu svaka činela proizvodi karakterističan zvuk. Nožnu činelu (engl. hi-hat cymbal) čine dvije činele koje pomoću pedale otvaramo i zatvaramo te na taj način dobivamo različite zvukove. Vodeća činela (engl. ride cymbal) ima sličnu zadaću kao i nožna, ali druge zvukovne karakteristike. Može se koristiti za praćenje ritma ili naglašavanje, ovisi o načinu udaranja o činelu. Rasprskavajuća činela (engl. crash cymbal) ima najjači zvuk od svih bubnjarskih elemenata. Koristi se kod naglašavanja prijelaza u pjesmi te kod sviranja krešenda (tal. *crescendo*). Činele koje se koriste kod modernog bubnja, a nisu uobičajene jesu prskajuća (engl. splash) i kineska činela (engl. china). U današnjoj glazbenoj produkciji koriste se prigušivači bubnjeva poput gel jastučića (engl. gel pads) te prstena za kontrolu zvuka (engl. sound control ring) različitih veličina.



Slika 1. Predodžba bubnjeva te njegovih dijelova [3].



Slika 2. Predodžba gel jastučića za bubnjeve [4].



Slika 3. Predodžba prstena za kontrolu zvuka [5].

2.2. Mikrofon

Mikrofon je ključni element u glazbenoj produkciji, a koristi se za snimanje zvuka bubnjeva i ostalih instrumenata. To je uređaj koji pretvara zvuk u električni signal. Također se koristi za mjerenje buke, akustičku analizu i sl. Postoji velik broj različitih vrsta mikrofona, no svi imaju jednu zajedničku komponentu – svaki od njih sadrži tanku membranu koja zvučnim valovima izaziva titranje, a ono se s pomoću mehaničko-električnoga pretvornika, spojenoga s membranom, pretvara u električni signal. U tipičnom ručnom mikrofону kao što je prikazano na slici ispod, membrana se nalazi u sredini glave mikrofona. U glazbenoj produkciji postoji dva osnovna tipa mikrofona koje se najčešće upotrebljuju za snimanje zvuka. To su dinamički i kondenzatorski mikrofoni [6]. Električni signal koju stvara mikrofon vrlo je mala i obično se mjeri u milivoltima. Kako bi se postigao dovoljno jak signal u daljnju obradu, potrebno ga je pojačati. Tada također dolazi i do pojačanja vrijednosti napona do razine približno u domeni od 0,5 V do 2,0 V. Za takav postupak koristi se uređaj koji u sebi ima ugrađeno pojačalo naponskog signla, a zove se mikseta.

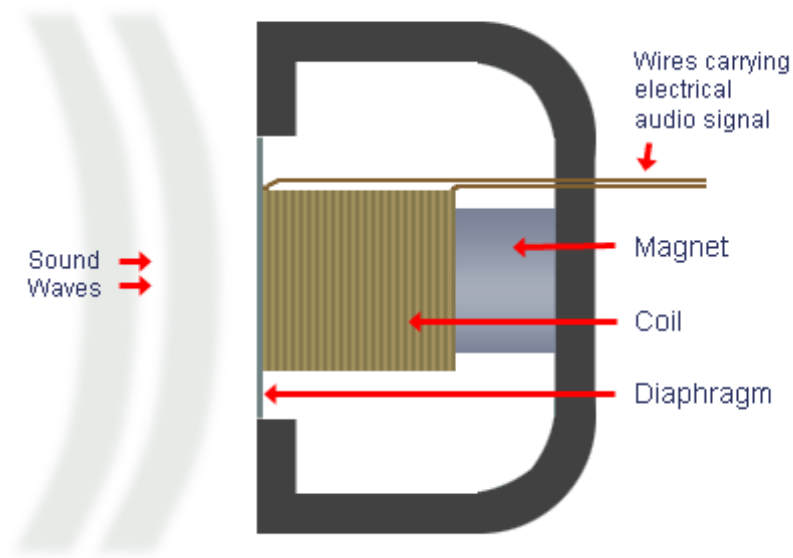


Slika 4. Predodžba pozicije membrane u mikrofonu [7].

2.3. Dinamički mikrofon

Dinamički mikrofoni ili specifičnije mikrofoni sa pokretljivom zavojnicom, su idealni za opću upotrebu. Ne zahtijevaju nikakav izvor struje ili baterije te koriste jednostavan dizajn s nekoliko pokretnih dijelova. Prednost ovih mikrofona je to što su obično manje osjetljivi na promjene u temperaturi i vlažnosti zraka, što ih čini pogodnima za korištenje u različitim uvjetima. Relativno su čvrsti i otporni na grubo rukovanje i padove [8]. Također jako dobro podnose instrumente sa visokim razinama glasnoće, kao što su bubnjevi. Karakteristika dinamičkih mikrofona je to što odbijaju zvuk sa zadnje strane mikrofona, dok najbolje prikupljaju sa prednje strane. Mikrofon se sastoji od membrane, zavojnice i magneta. Membrana i zavojnica su međusobno pričvršćeni, a zavojnica je omotana oko magneta. Kada zvučni valovi stupaju u interakciju s membranom, tada nastaje pomicanje zavojnice naprijed-natrag unutar magnetskog polja magneta, što rezultira električnom strujom i naponom na zavojnici žice [9].

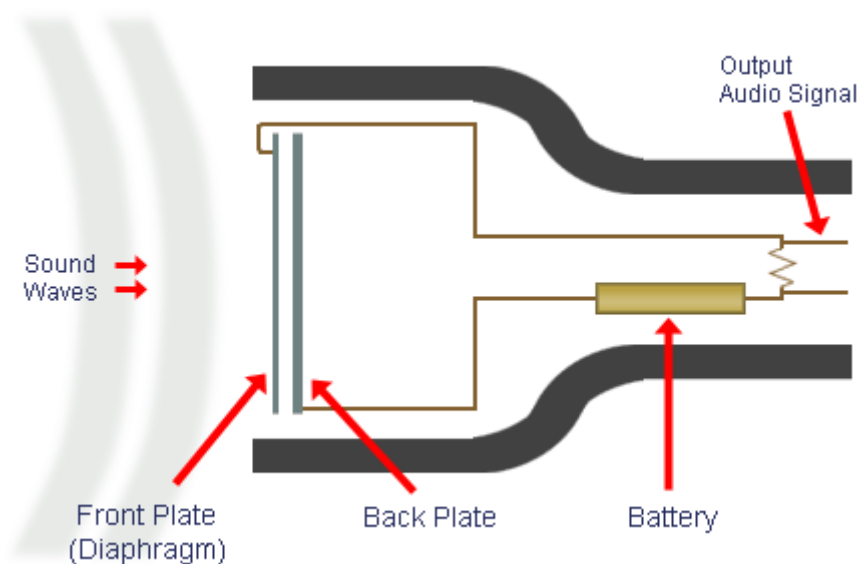
Cross-Section of Dynamic Microphone



Slika 5. Predodžba poprečnog presjeka dinamičkog mikrofona [10].

2.4 Kondenzatorski mikrofoni

Kondenzatorski mikrofoni su elektronička komponenta koja pohranjuje energiju u obliku elektrostatičkog polja. Sastoji se od membrane, stražnje ploče i baterije. Membrana i stražnja ploča su u neposrednoj blizini, s malo prostora između njih. Kada zvučni valovi stupaju u interakciju s membranom, udaljenost između membrane i stražnje ploče se mijenja, što također mijenja kapacitet i rezultira promjenom napona odnosno proporcionalno struje. Točnije, kada su ploče bliže jedna drugoj, povećava se kapacitet i javlja se struja punjenja. Kad su ploče udaljenije, kapacitivnost se smanjuje i javlja se struja pražnjenja. Za takav postupak potreban je napon na kondenzatoru. Taj se napon napaja iz baterije u mikrofoni ili iz vanjskog fantomskog (engl. phantom) napajanja [11]. Napajanje iznosi +48V, a najčešći izvor tog napajanja je mikseta. Audio signal kondenzatorskog mikrofona je jači signal od dinamičkog. Također su dosta osjetljiviji od dinamičkih, što ih čini prikladnijima za prikupljanje detaljnih nijansi u zvuku. Nisu idealni za rad velike glasnoće jer su zbog svoje osjetljivosti skloni izobličenju zvuka.



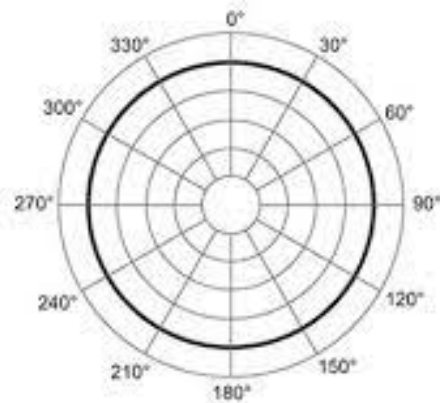
Slika 6. Predodžba poprečnog presjeka kondenzatorskog mikrofona [11].

2.5. Usmjerenost mikrofona

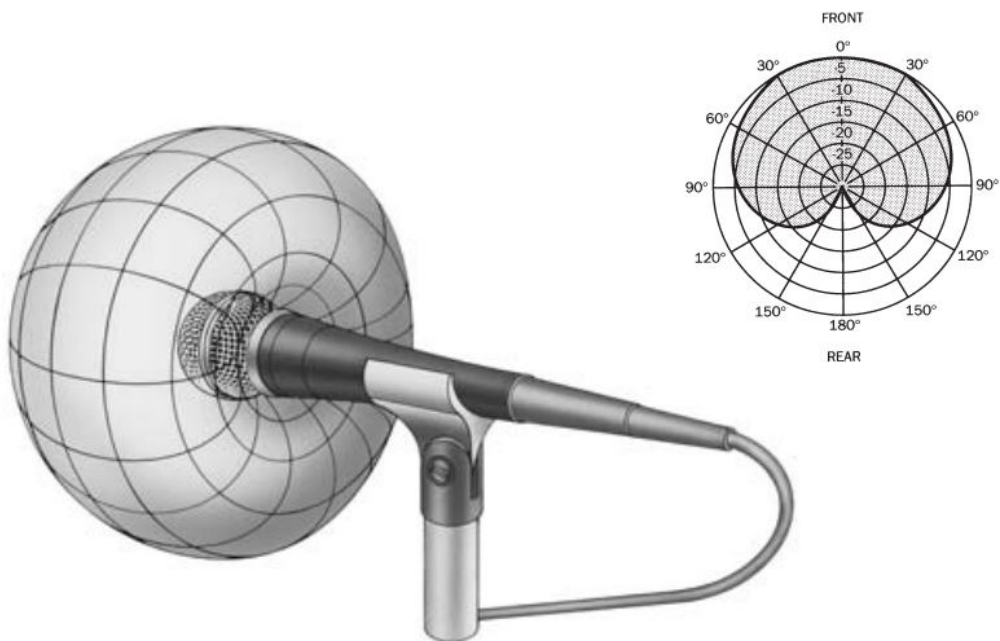
Svaki mikروفon ima svojstvo poznato kao usmjerenost mikrofona. Takva karakteristika opisuje osjetljivost mikrofona na zvuk koji dolazi iz različitih smjerova. Vrste usmjerenosti podijeljene su u tri glavne kategorije:

- a) Višesmjerna (engl. *omnidirectional*) - mikروفon prima zvuk ravnomjerno iz svih smjerova. Upotrebljava se kod snimanja okolne buke. Iako su višesmjerni mikrofoni vrlo korisni u pravoj situaciji, obično nije potrebno uhvatiti zvuk iz svih smjerova. Zvuk je vrlo općenit i nefokusiran. Ako se pokušava uhvatiti zvuk iz određenog subjekta ili područja, zvuk će biti nadjačan šumom.
- b) Jednosmjerna (engl. *unidirectional*) – mikروفon prima zvuk pretežno iz jednog smjera. U tu kategoriju spadaju kardioidni (engl. *cardioid*) i hiperkardioidni (engl. *hypercardioid*) mikrofoni. Kardioidni znači "u obliku srca", što je tip uzorka hvatanja koji koriste ovi mikrofoni. Zvuk se hvata uglavnom srijeda i sa strane, ali u manjoj mjeri. Kardioid je vrlo svestran mikروفon, idealan za opću upotrebu. Hiperkardioidan je usmjeren i eliminira većinu zvuka sa strane i straga. Često se nazivaju „mikrofoni sačmarice“ (engl. *shotgun*) zbog svojega tankog dizajna.
- c) Dvosmjerna (engl. *bidirectional*) – mikروفon prima zvuk iz dva suprotna smjera. Najčešća upotreba takvih mikrofona je intervju dvoje ljudi okrenutih jedno prema drugom (s mikrofonom između njih) [12].

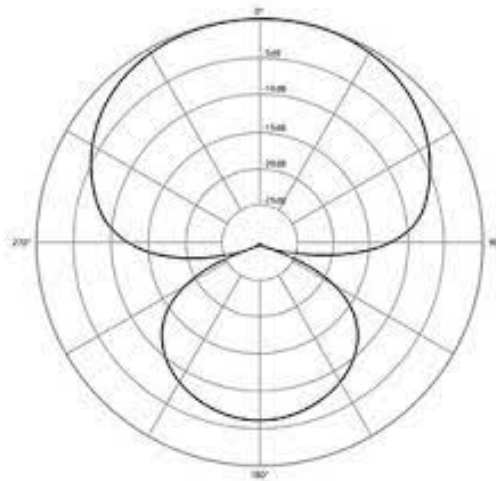
Kako bi se lakše razumjeli svojstva usmjerenosti određenog mikrofona, korisnički priručnici često uključuju grafički prikaz usmjerenosti mikrofona. Takva vrsta grafa se naziva polarni uzorak ili polarni dijagram. U nastavku su prikazani primjeri.



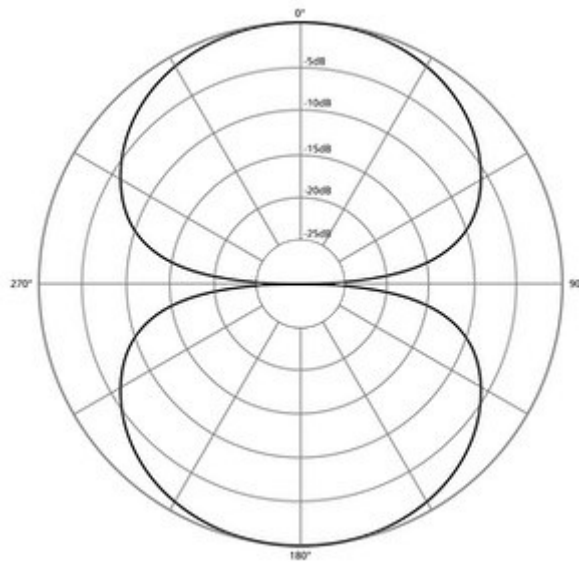
Slika 7. Predodžba polarnog uzorka višesmjernog mikrofona [13].



Slika 8. Predodžba polarnog uzorka kardiodnog mikrofona [14].



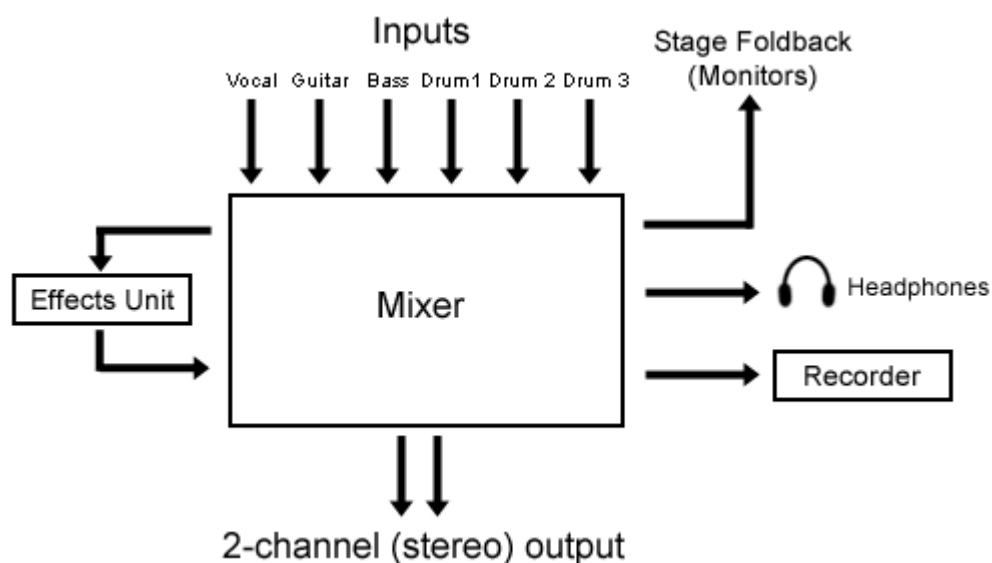
Slika 9. Predodžba polarnog uzorka hiperkardioidnog mikrofona [15].



Slika 10. Predodžba polarnog uzorka dvosmjernog mikrofona [16].

2.6. Mikseta

Mikseta je uređaj koji prihvaća dva ili više audio signala, kombinira ih međusobno spajanjem ili „miješanjem“ i može proslijediti jedan ili više signala na svom izlazu za potrebe dokumentiranja na analogni ili digitalni medij, slušalice, zvučnike ili neki drugi uređaj. Osim kombiniranja signala, mikseta omogućuje podešavanje glasnoće (intenziteta zvuka), poboljšanje zvuka ekvilizacijom (izjednačavanje frekvencija zvučnog spektra) i efektima (dodani signal iz drugog izvora) te snimanje raznih skladbi. Postoje dvije glavne vrste audio mikseta: analogna i digitalna. Miksete dolaze u velikom izboru veličina i dizajna, od malih prijenosnih jedinica do masivnih studijskih konzola. Neke od najčešćih upotreba mikseta su u glazbenim i televizijskim studijima te u nastupima uživo [17]. Mikseta se često opisuje prema broju kanala koje imaju. Na primjer, "12-kanalni mikser" ima 12 ulaznih kanala, tj. može se priključiti 12 zasebnih ulaznih izvora. Donji dijagram pokazuje na koji način mikseta može pružiti dodatne izlaze za praćenje, snimanje itd.



Slika 11. Predodžba dijagrama funkcionalnosti miksete [18].

2.7. Analogna mikseta

Analogne miksete izvrsne su za snimanje te za tzv. „svirke uživo“. Prednost analogne miksete je jednostavna kontrola zvuka iz svih izvora (mikrofona i instrumenata) i jednostavnost uporabe. Analogne miksete manje su cijene od novijih digitalnih modela, ali im nedostaje automatizacija i mogućnost programiranja koji bi mogli biti potrebni za složenija snimanja. Analogne miksete za rad koriste analogne elektroničke uređaje [19]. Imaju jednu kontrolu po funkciji odnosno signalu, a sve su vidljive i dostupne na upravljačkoj ploči kako je predočeno na slici 12.



Slika 12. Predodžba analogne miksete proizvođača Yamaha model MG16XU [20].

2.8. Digitalna mikseta

Digitalne miksete imaju veći izbor kontrolnih i dopunskih funkcija. Može se unaprijed programirati, spremiti i pozvati postavke snimljenog zvuka, što je praktično ako se redovito svira s istim bendom te kada treba izvršiti brzu promjenu postavki usred događaja [19]. Funkcioniraju na način da obrađuju signal pomoću digitalnog, binarnog koda (0 i 1). Većina digitalnih mikseta danas dolazi s bežičnom vezom za povezivanje s iPadom ili pametnim telefonom za daljinsko upravljanje. To omogućuje da ton-majstor ne mora cijelo vrijeme biti pozicioniran na jednom mjestu. Može slobodno hodati po cijeloj prostoriji dok namještava zvuk preko telefona ili tableta, osiguravajući da se glazba čuje posvuda. Prednost digitalnih mikseta je što mogu odjednom posebno snimiti više instrumenata zbog složenosti zvučne kartice. Jedan od najznačajnijih nedostataka digitalnih mikseta je njihova cijena. Visoke su cijene zahvaljujući činjenici da mogu obavljati razne funkcije s jednog mjesta. Digitalnim miksetama zahtjevno je rukovati. Naučiti kako koristiti i upravljati jednim digitalnim mikserom ne znači da se može automatski upravljati drugim digitalnim mikserom.

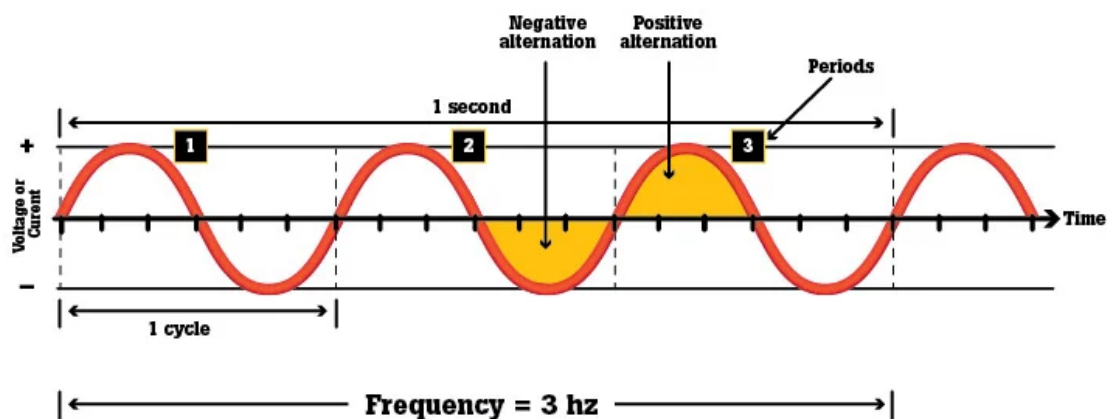


Slika 13. Predodžba digitalne miksete proizvođača Behringer model X32.

Izvorno autor.

2.9. Frekvencija

Frekvencija signala zvuka je broj ponavljanja sinusnog vala ili dovršetka pozitivnog i negativnog ciklusa u jedinici vremena. Mjeri se u hertzima (Hz), međunarodnoj jedinici mjere, gdje je Hz jednak recipročnoj vrijednosti trajanja jednog od ponavljajućih događaja, perioda T , tj. $f = 1/T$ [21]. Što se više ciklusa dogodi u sekundi, veća je učestalost, a time i frekvencija. Na primjer: Ako izmjenična struja ima frekvenciju od 3 Hz (donji dijagram), to znači da se njezin valni oblik ponavlja 3 puta u 1 sekundi.



Slika 14. Predodžba frekvencije od 3Hz [22].

Da bi se snimio audio zapis bubnjeva koji pokriva frekvencije od 20 Hz do 20.000 Hz što je približno opseg slušnosti ljudskog osjeta sluha, potrebno je koristiti minimalno duplo veću frekvenciju uzorkovanja od 44.1 kHz, 88.2 kHz ili 96 kHz, kako je naznačeno u referentnoj literaturi [23]. Duplo veća frekvencija uzorkovanja od frekvencijskog raspona signala koji je potrebno snimiti proizlazi iz Nyquist-Shannonovog teorema, koji se u praksi pojednostavljeno formulira kao:

$$f_s > 2f_c$$

gdje je f_s frekvencija uzorkovanja, a f_c najviša frekvencija koju sadrži signal [24]. Prilikom snimanja odabrana je frekvencija uzorkovanja od 44.1 kHz što je inače frekvencija uzorkovanja CD-audio standarda.

2.10. Slijedivost metode snimanja muzičkih instrumenata

Snimanje muzičkih instrumenata je složen proces koji zahtijeva pažnju i preciznost kako bi se postigao kvalitetan zvučni zapis. Postoje različiti standardi i uvjeti snimanja koji ovise o vrsti muzičkog instrumenta, vrsti snimke koja se radi i opremi koja se koristi. Prije snimanja, instrumenti se moraju postaviti na željeni način. To uključuje željeno podešavanje visine, nagiba te udaljenosti kod bubnjeva i činela. Također je potrebno postaviti mikrofone na pravilan način. Nakon što su mikrofoni postavljeni, potrebno ih je precizno podešavati kako bi se postigao najbolji kvalitet zvuka. To uključuje podešavanje položaja mikrofona prema izvoru zvuka i prilagodbu osjetljivosti mikrofona. Mikrofoni se obično postavljaju ispred ili iznad instrumenta, ovisno o tome koja vrsta zvuka se želi zabilježiti. Na primjer, mikrofoni za bubnjeve se obično postavljaju na nekoliko mjesta kako bi se snimio cijeli zvuk bubnja. Nakon što je oprema postavljena, može se početi sa snimanjem. Potrebno je provjeriti nivo i balans zvuka kako bi se osiguralo da svaki instrument ima odgovarajuću jačinu zvuka i pravilan položaj u miksu. Snimanje obično započinje testnim snimkama kako bi se provjerila kvaliteta zvuka te jesu li sve komponente ispravno podešene. Uvjeti snimanja također imaju važnu ulogu u kvaliteti zvuka. Prostorija u kojoj se snima mora biti dovoljno velika da bi se postigao prirodni zvuk instrumenata. U posebnim slučajevima, poput snimanja bubnjeva ili gitarskog pojačala, koristi se izolacijska kabina radi smanjenja buke i sprječavanja interferencije zvuka s drugim mikrofonima.



Slika 15. Predodžba izolacijske kabine bubnjeva [25].

Također je važno uzeti u obzir akustiku prostorije. Ako je prostorija previše odjekujuća, rezultat snimanja će biti nejasan zvuk, dok će prevelika količina zvučne izolacije umanjiti prirodni zvuk instrumenata. Nakon testiranja, snimanje se može nastaviti sve dok se ne postignu željeni rezultati. Po završetku snimanja slijedi miksiranje. Miksiranje je proces kojim se zvukovi pojedinačnih instrumenata spajaju u cjelokupni audio zapis. To se obavlja u specijaliziranom programu za miksiranje, gdje se vrši podešavanje jačine zvuka, dodavanje efekata i primjena kompresije [26]. Kvalitetno snimanje muzičkih instrumenata zahtijeva pravilno postavljanje mikrofona, pažljiv odabir prostorije i akustičnih uvjeta te temeljito miksiranje.

2.11. Metoda za procjenu dinamike membrane bubnja

Postoji standardizirana metoda za procjenu dinamike ili odziva membrane bubnja, koja se naziva "metoda udarca" ili "metoda pobude i mjerenja" i opisana je u standardu ISO 2041:2009 [27]. Ova metoda uključuje uporabu drvene palice za udaranje po membrani bubnja, dok je mikروفon postavljen u neposrednoj blizini membrane. Nakon udarca, zvučni zapis se snima i kasnije analizira radi mjerenja odziva membrane. Pomoću snimljenog zvučnog zapisa analiziraju se amplitude, frekvencije i trajanja vibracija membrane, što omogućuje detaljniju karakterizaciju dinamike membrane i njenog reagiranja na udarce. Važno je napomenuti da se prethodna metoda primjenjuje isključivo na bubnjeve i slične instrumente s membranskim sustavom te da se ne primjenjuje na druge vrste mehaničkih akustičkih aktuatora, kao što su zvučnici ili pojačala zvuka.

3. PRAKTIČNI DIO

Ovo poglavlje pruža uvid u postupak snimanja bubnjeva i završne faze, prikazujući kako bi graf frekvencije trebao izgledati kada se svi elementi navedeni u teorijskom dijelu povežu u jednu cjelinu. Nakon toga, primjenom postupaka opisanih u ovom poglavlju, elementi se sažimaju u sveobuhvatnu cjelinu, a zaključak i motivacija izrade rada se predočuju.

3.1. Bubanj i oprema za snimanje

Bubanj korišten za snimanje je model Mapex Mars Bebop Shell Set CIW. Ovaj set se sastoji od bas bubnja, doboša, high-toma i floor-toma. U snimanje su uključeni Hi-hat, Ride i dvije Crash činele.



Slika 16. Predodžba bubnjeva, model Mapex Mars Bebop Shell Set CIW

Izvorno autor

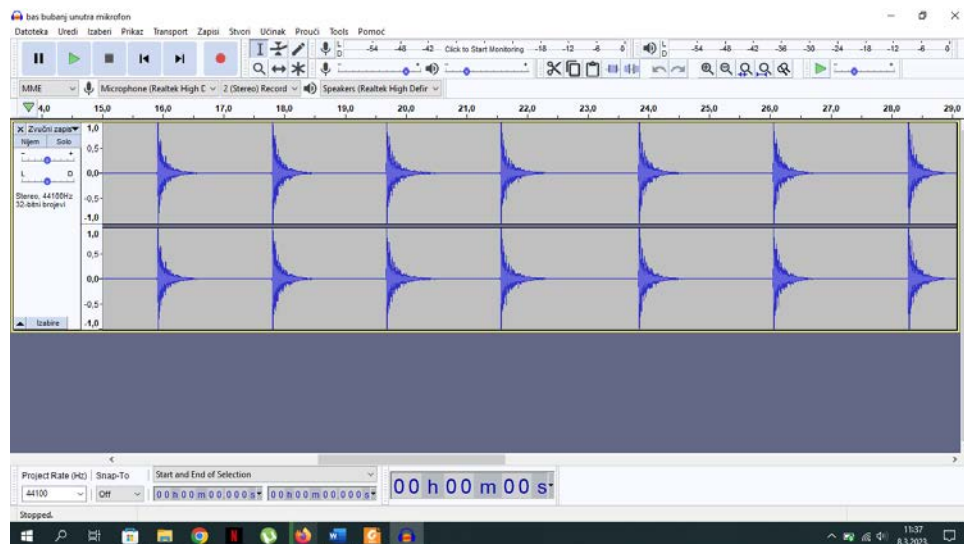
Tablica 1. Korištena oprema kod snimanja bubnjeva

Naziv	Tip opreme	Specifikacije
Fujitsu Lifebook A555	Laptop	Intel core i3 4Gb RAM Memorije Samsung SSD Disk
Behringer X32	Digitalna mikseta	38 ulaza i 22 izlaza
Behringer X-USB	Zvučna kartica	24-bitno USB 2.0 sučelje 32 kanalno snimanje
Audacity	Domaćinski program	Korišten za snimanje audio zapisa

U svrhu dobivanja kvalitetnijeg audio zapisa pojedinačnih uzoraka, korištena su 4 različita mikrofona.

3.2. Bas bubanj

Za snimanje bas bubnja korišten je dinamički mikrofonski kardiodnog usmjerenja AKG D112. Tehnologija je danas napredovala u mnogim aspektima, uključujući i razvoj softverskih alata za obradu zvuka. Audacity program je jedan od softverskih alata koji omogućuje korisnicima analizu i obradu zvučnih datoteka na različite načine. Audacity program je korišten za analizu frekvencija bubnjeva. Tom se analizom određuje i uspoređuje različite frekvencijske komponente koje čine zvuk bubnja. Analiza zvučnog zapisa može služiti u različite svrhe, uključujući prilagođavanje zvuka bubnja u snimci ili identificiranje problema u njegovoj izvedbi.



Slika 17. Predodžba snimljenog audio zapisa bas bubnja u Audacity programu

Izvorno Autor

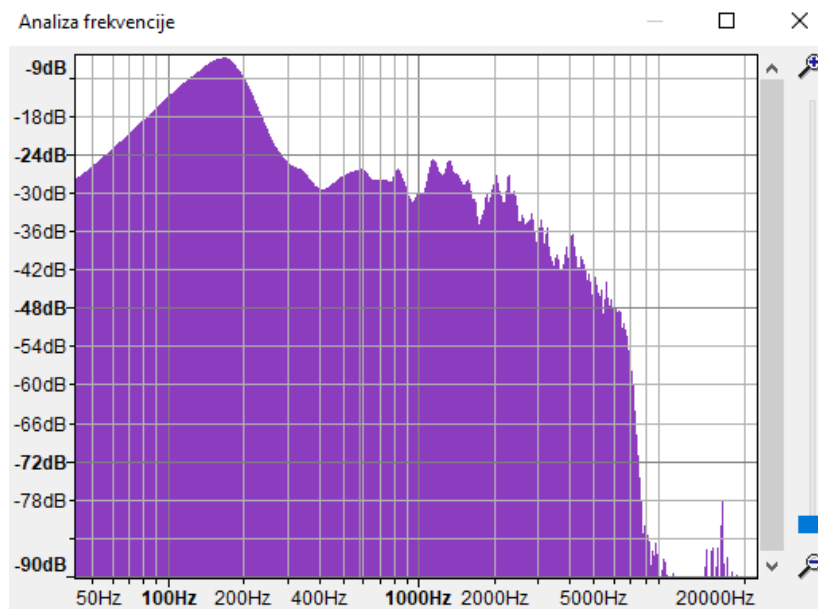


Slika 18. Pozicija mikrofona za snimanje bas bubnja

Izvorno Autor

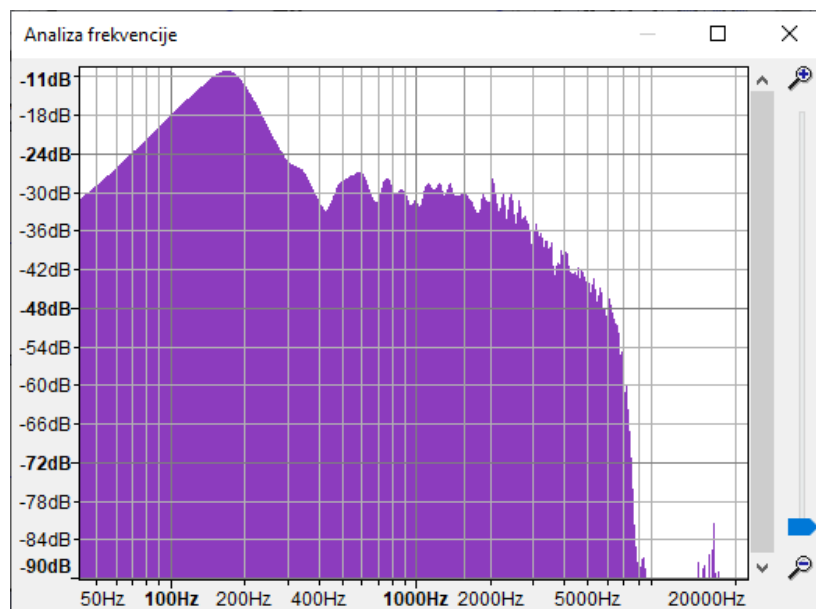
Uzeto je u obzir dvije različite metode snimanja zvuka bas bubnja. U prvoj metodi, mikrofom je bio postavljen u unutrašnjosti bubnja. U drugoj metodi mikrofom je bio postavljen izvan bubnja, što je omogućilo hvatanje zvuka koji se širio izvan bubnja.

Uspoređena su dva grafa frekvencija bas bubnja i primjećeno je da na prvom grafu (graf gdje je mikروفon unutra) više izražena frekvencija od 450 Hz. Također su izraženije i frekvencije u rasponu od 20 do 100 Hz. Na drugom grafu, frekvencije od 600 i 1746 Hz su izraženije u odnosu na prvi graf.



Slika 19. Predodžba grafa frekvencije prve metode snimanja bas bubnja

Izvorno autor



Slika 20. Predodžba grafa frekvencije druge metode snimanja bas bubnja

Izvorno autor

U prvoj metodi, mikروفon je bio postavljen tako da je više prikupljao zvuk koji se stvarao unutar bubnja, što je rezultiralo izraženim niskim frekvencijama. Ovom metodom stvorio se vrlo specifičan i udaran zvuk koji je karakterističan za bubnjeve. Drugom metodom stvorio se više otvoren i prirodan zvuk.

3.3. Doboš

Za snimanje „doboša“ korišten je dinamički mikروفon kardioidnog usmjerenja Shure SM 57.

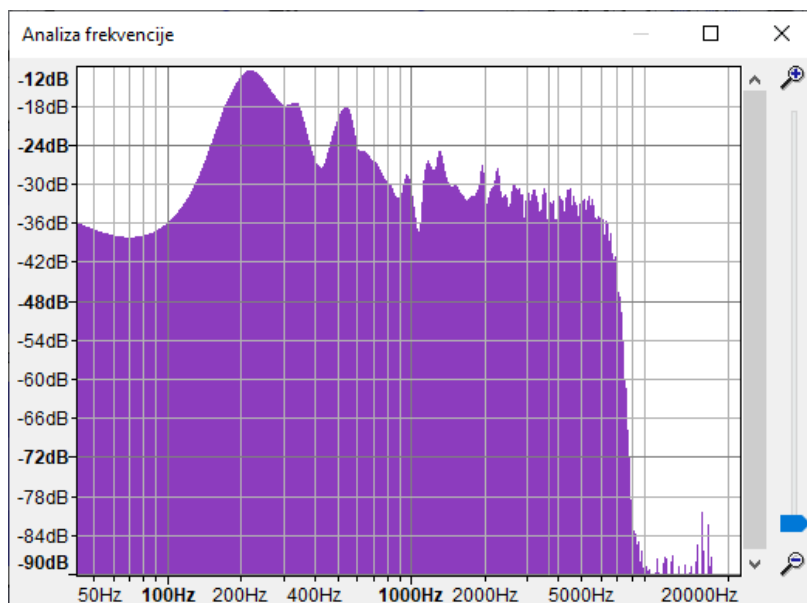


Slika 21. Pozicija mikrofona za snimanje doboša

Izvorno Autor

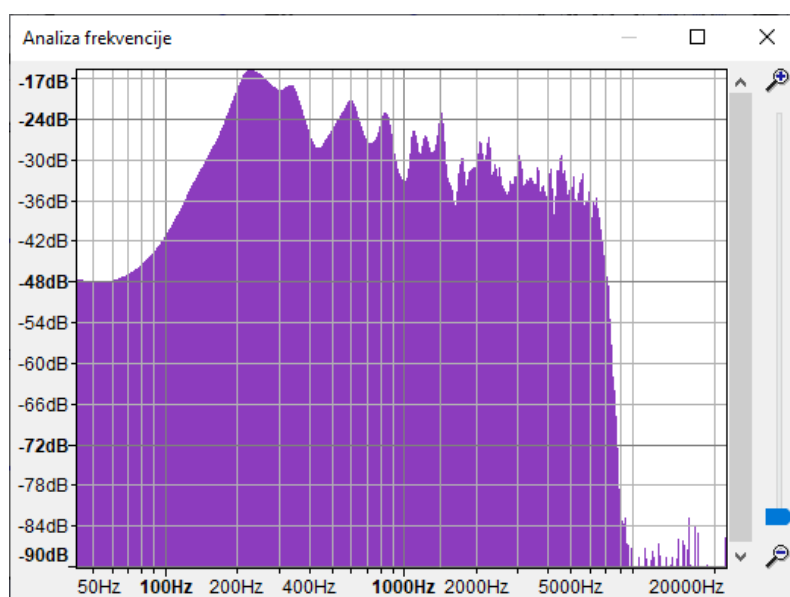
Razmatrale su se dvije različite tehnike snimanja zvuka „doboša“. U prvoj metodi, mikروفon je bio usmjeren prema sredini „doboša“, a udaranje se vršilo drvenim palicama po središtu „doboša“. U drugoj metodi, mikروفon je bio postavljen bočno, a udaranje se vršilo palicama uz rub „doboša“.

Analizirana su dva grafa frekvencija „doboša“ te je uočeno da se na prvom grafu nalazi izraženija frekvencija na 1620 Hz, dok su frekvencije u rasponu od 20 do 100 Hz također značajno prisutne. Na drugom grafu, frekvencije od 830 te 1444 Hz su izraženije u usporedbi s prvim grafom. Velika razlika se vidi u specifičnoj frekvenciji od 1100 Hz, gdje se u prvom grafu smanjuje, dok se u drugom grafu značajno izražava. Što se tiče viših frekvencija iznad 2000 Hz, situacija na oba grafa je vrlo slična.



Slika 22. Predodžba grafa frekvencija prve metode snimanja doboša

Izvorno autor



Slika 23. Predodžba grafa frekvencija druge metode snimanja doboša

Izvorno autor

Na temelju razmatranja dvije različite tehnike snimanja zvuka „doboša“, zaključak je da postavljanje mikrofona na različite pozicije utječe na zvuk koji se snima. U prvom slučaju, postavljanje mikrofona koji je bio usmjeren prema sredini „doboša“ daje snažan i pun zvuk. U drugom slučaju, postavljanje mikrofona bočno uz rub „doboša“ daje drugačiji zvuk, manje snažniji te zvučni zapis sadrži više zvukova koji se šire izvan „doboša“.

3.4. High tom bubanj

Dinamički mikrofoni kardiodnog usmjerenja Sennheiser e604 upotrijebljeni su za snimanje zvuka high tom bubnja.

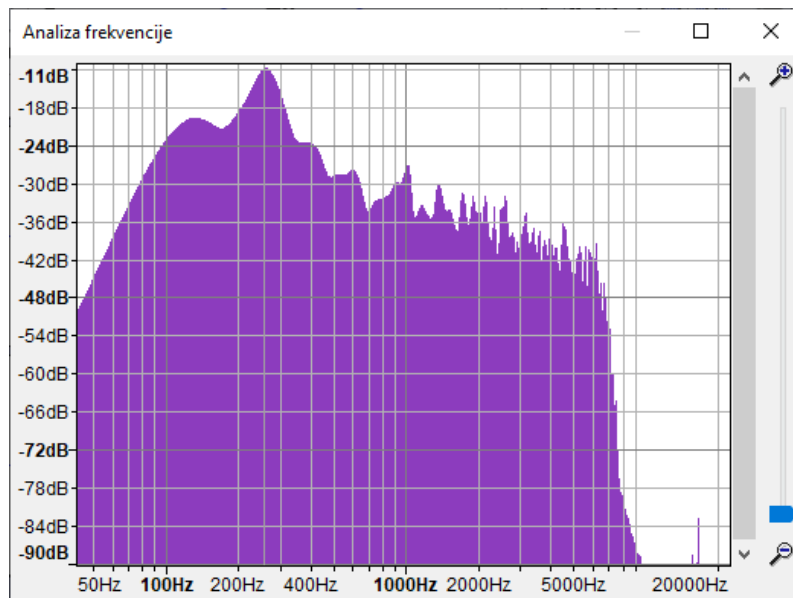


Slika 24. Pozicija mikrofona za snimanje high tom bubnja

Izvorno autor

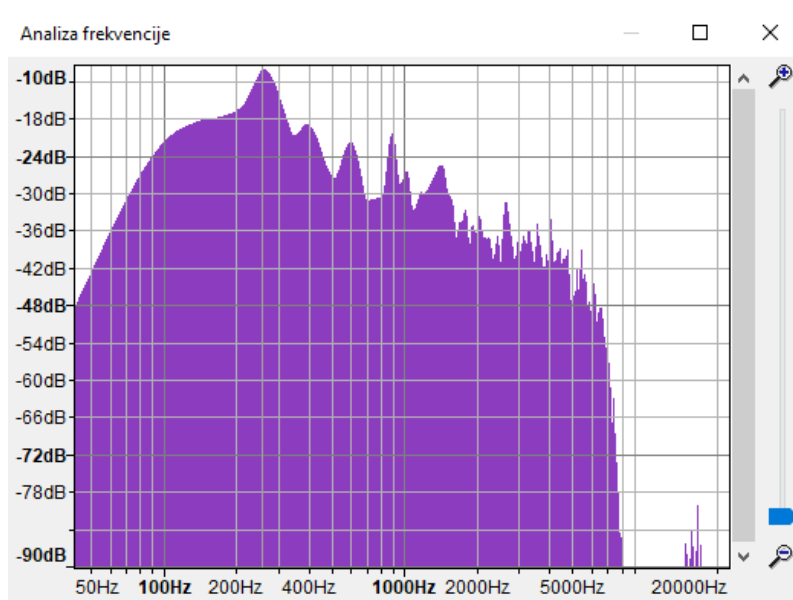
Koristile su se dvije različite tehnike snimanja zvuka high tom bubnja. Prva metoda uključivala je udaranje drvenim palicama po sredini bubnja, dok se u drugoj metodi udaralo palicama uz rub bubnja. U oba slučaja, mikrofoni su bili usmjereni prema sredini bubnja te fiksno postavljeni na istoj udaljenosti, koja je iznosila 5 cm.

Nakon analize dvaju grafova frekvencija high tom bubnja ustanovljeno je da su grafovi vrlo slični, no drugi graf pokazuje veću izraženost frekvencija na 180, 384, 593, 884 i 1416 Hz u usporedbi s prvim grafom.



Slika 25. Predodžba grafa frekvencija prve metode snimanja high tom bubnja

Izvorno autor



Slika 26. Predodžba grafa frekvencija druge metode snimanja high tom bubnja

Izvorno autor

Frekvencije koje su izraženije u zvuku high tom bubnja utječu na karakteristike zvuka. Na primjer, frekvencija na 180 Hz može pridonijeti dubljem i punijem tonu, dok frekvencije na 593 Hz i 884 Hz mogu dodati više visokih tonova. Frekvencija na 1416 Hz može pridonijeti treperenju koje se čuje u zvuku high tom bubnja. Svaka frekvencija koja je prisutna u zvuku high tom bubnja doprinosi njegovom ukupnom zvučnom karakteru.

3.5. Floor tom bubanj

Za snimanje zvuka floor tom bubnja korišten je dinamički mikrofonski kardoidnog usmjerenja Sennheiser e604.

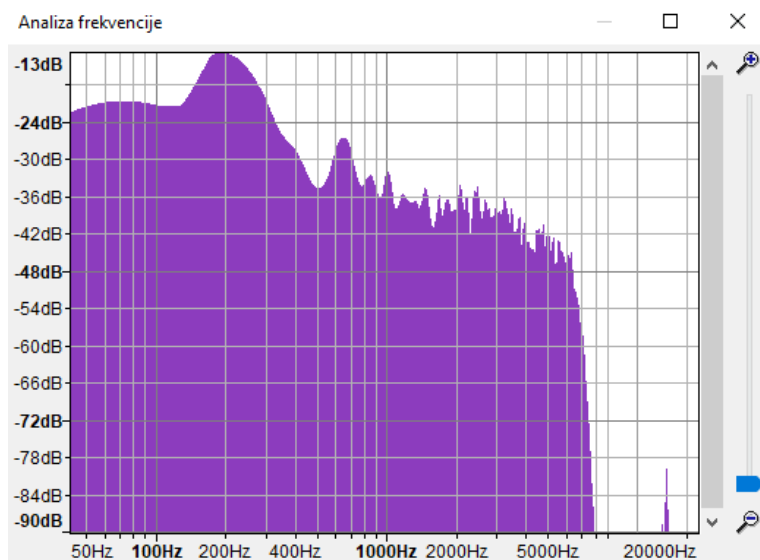


Slika 27. Pozicija mikrofona za snimanje floor tom bubnja

Izvorno autor

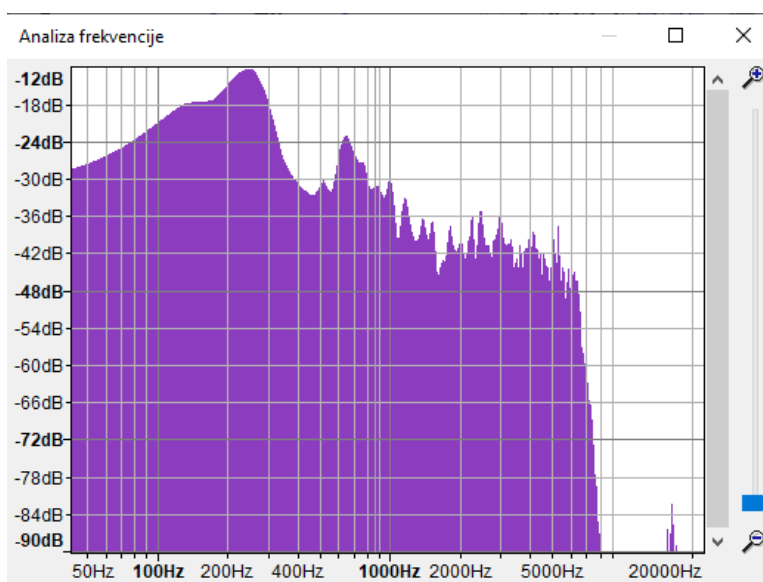
Autor je izvršio snimanje zvuka floor tom bubnja koristeći dvije različite tehnike. U prvoj metodi, koristile su se drvene palice za udaranje po sredini bubnja, dok se u drugoj metodi koristile palice za udaranje uz rub. U oba slučaja, mikrofonski je bio usmjeren prema središtu bubnja i postavljen na istoj fiksnoj udaljenosti od 5 cm.

Nakon analize grafa frekvencija floor tom bubnja uočena je razlika u rasponu frekvencija od 20 do 100 Hz između dvaju grafova. Prvi graf pokazuje najizraženiju frekvenciju na 195 Hz, dok drugi graf pokazuje najizraženiju frekvenciju na 305 Hz. Međutim, drugi graf pokazuje izraženost frekvencija na 520 Hz i 650 Hz u usporedbi s prvom grafikom. Drugim grafom frekvencija zabilježen je pad u frekvenzijskom području od 1736 Hz. U rasponu od 2000 Hz nadalje, zabilježene su sličnosti između dvaju grafova.



Slika 28. Predodžba grafa frekvencija prve metode snimanja floor tom bubnja

Izvorno autor



Slika 29. Predodžba grafa frekvencija druge metode snimanja floor tom bubnja

Izvorno autor

Na temelju analize grafova frekvencija floor tom bubnja, zaključaj je da različite frekvencije koje se generiraju pri sviranju bubnja utječu na njegov zvuk na različite načine. Niske frekvencije obično su povezane s dubljim tonom bubnja, što rezultira da će zvuk bubnja biti dublji i puniji. S druge strane, više frekvencije obično se povezuju s oštrijim i jasnijim zvukom. Kada su te frekvencije izraženije, zvuk bubnja će biti jasniji i precizniji.

3.6. Hi-hat činela

Za snimanje se koristila Meinl HCS hi-hat činela promjera 14". Upotrijebljen je kondenzatorski mikrofonski kardoidnog smjera AKG C451E (Vintage).

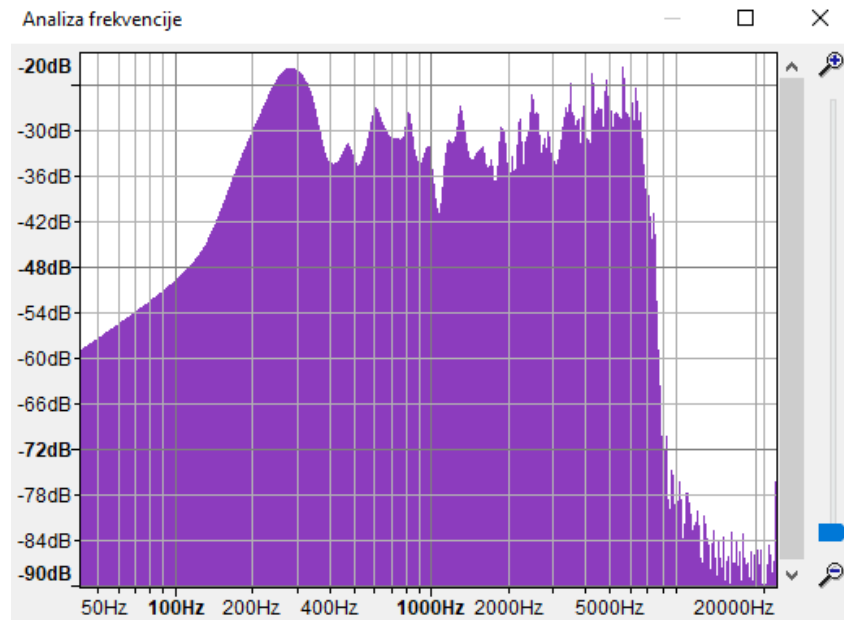


Slika 30. Pozicija mikrofona za snimanje hi-hat činele

Izvorno autor

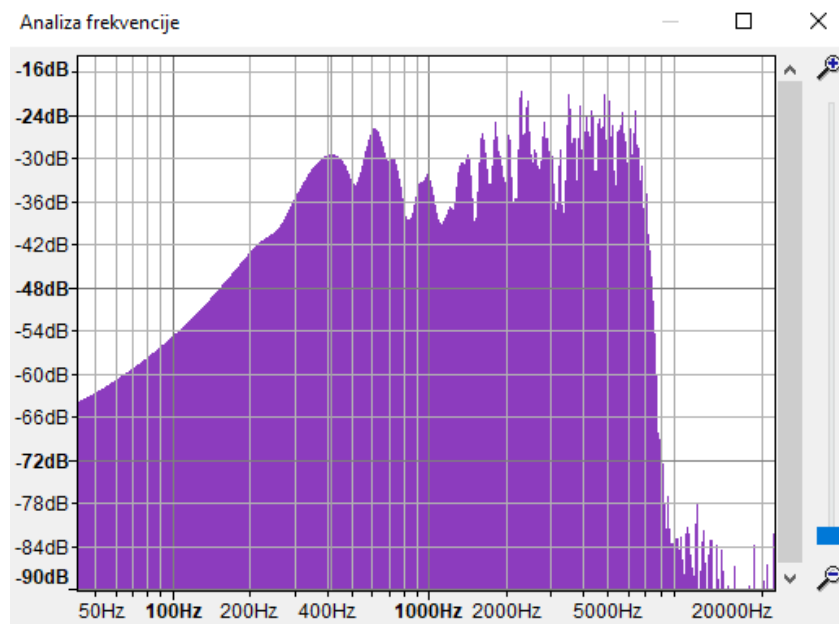
Za snimanje zvuka hi-hat činele upotrebljene su dvije različite tehnike. U prvoj metodi, hi-hat činela je bila zatvorena (gornja i donja činela su čvrsto spojene i ne mogu slobodno vibrirati jedna u odnosu na drugu), dok je u drugoj metodi bila otvorena (postoji razmak između gornje i donje činele te se one mogu slobodno vibrirati jedna u odnosu na drugu). Mikrofonski je bio postavljen na istoj udaljenosti od 7 cm u oba slučaja.

Analizom grafa frekvencija hi-hat činele primijećena je značajna razlika u frekvenciji od 285 Hz, gdje se u prvom grafu pojavljuje ta frekvencija, dok u drugom nije izražena. Prvi graf prikazuje veću izraženost frekvencije na 807 Hz, dok je ta frekvencija smanjena na drugom grafu. U rasponu frekvencija od 3500 do 8000 Hz, oba grafa pokazuju izražene frekvencije.



Slika 31. Predodžba grafa frekvencija prve metode snimanja hi-hat činele

Izvorno autor



Slika 32. Predodžba grafa frekvencija druge metode snimanja hi-hat činele

Izvorno autor

Viša izraženost frekvencije na 807 Hz u prvom grafu može stvoriti zvuk koji je oštrije ili svjetliji. S druge strane, izostanak frekvencije od 285 Hz u drugom grafu može rezultirati manje složenim zvukom, dok izražene frekvencije u rasponu od 3500 do 8000 Hz mogu pridonijeti sjaju i prisutnosti u zvuku činele. Točan zvuk koji se stvara u činelama ovisi o mnogim čimbenicima, na primjer, materijal te veličina činele.

3.7. Crash činela

U ovom projektu su se uspoređivale dvije crash činele, Stagg 16" Sensa Brilliant Medium Crash i Stagg 16" Sensa Orbis Medium Crash. Za snimanje zvuka korišten je kondezatorski mikروفon kardioidnog smjera AKG C451E (Vintage).

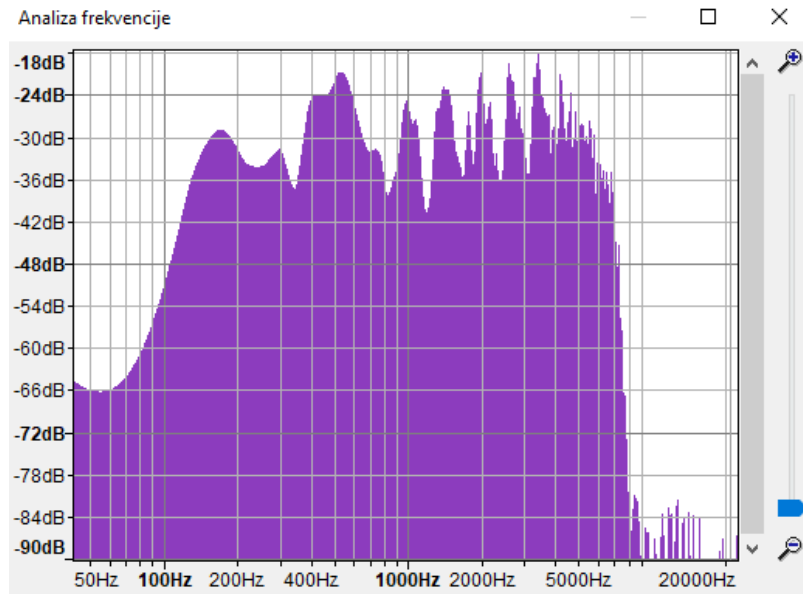


Slika 33. Pozicija mikrofona za snimanje Brilliant Crash (slika lijevo) i Orbis Crash činele (slika desno)

Izvorno Autor

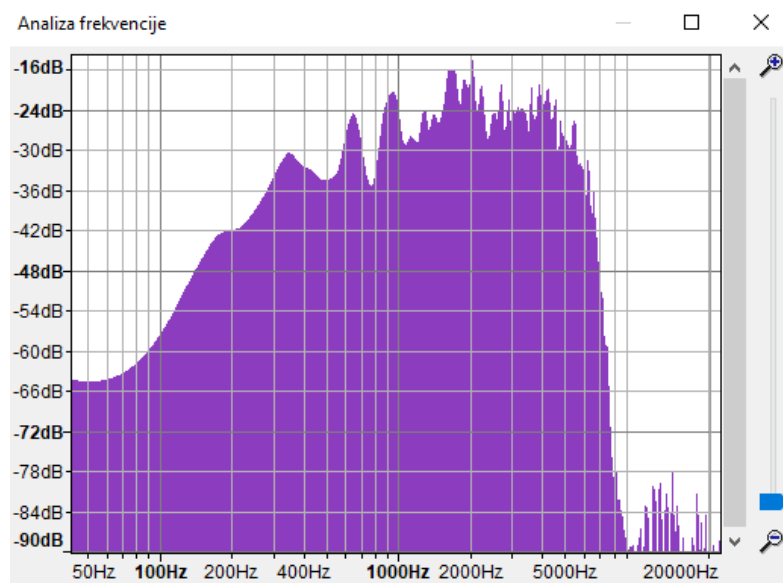
Za bilježenje zvuka crash činela korištene su jednostavne tehnike udaranja drvenim palicama o činelu. U oba slučaja, mikروفon je bio postavljen na udaljenost od 10 cm.

Analizom grafa frekvencija crash činela, uočena je značajna razlika u vrijednostima frekvencija u rasponu od 100 do 300 Hz i od 400 do 600 Hz, gdje se na prvom grafu pojavljuju skokovi u tim vrijednostima. Na drugom grafu, posebno se ističu frekvencije na 1994 Hz, 2687 Hz i 3389 Hz. Primjećuje se skok na drugom grafu u frekvenciji od 350 Hz, dok u prvom grafu ta frekvencija opada. Na prvom grafu, uočen je i nagli pad frekvencije na 1214 Hz, dok se na drugom grafu ta pojava ne događa.



Slika 34. Predodžba grafa frekvencija snimanja Brilliant Crash činela

Izvorno autor



Slika 35. Predodžba grafa frekvencija snimanja Orbis Crash činela

Izvorno autor

3.8. Ride činela

Pri snimanju je korištena 20-inčna Planet Z ride činela, a također se koristio AKG C451E (Vintage) kondenzatorski mikrofoni s kardioidnom usmjerenosti.

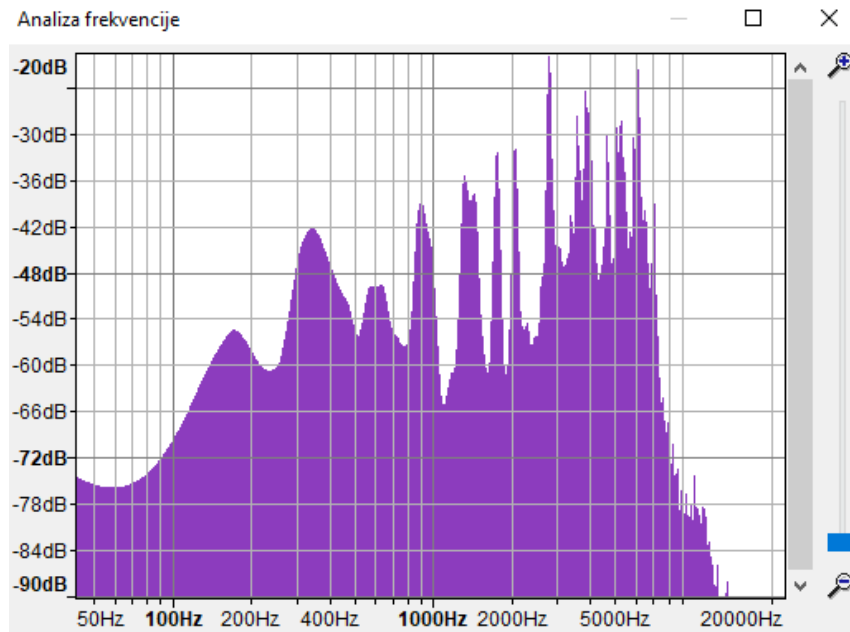


Slika 36. Pozicija mikrofona za snimanje ride činele

Izvorno autor

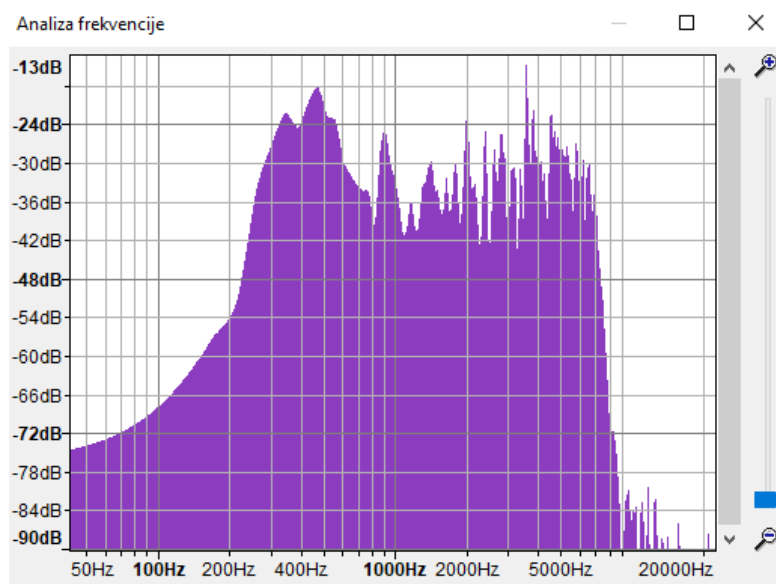
Snimajući zvuk ride činele, primjenjivane su dvije različite tehnike udaranja. Prvi put se udaralo drvenim palicama blizu središta činele, a drugi put udarajući o rub činele. Za obje tehnike snimanja, mikrofoni su postavljeni na udaljenosti od 3 cm od činele.

Analizom grafa frekvencija ride činele primijećena je značajna razlika između dvaju grafova u rasponu frekvencija od 185 do 900 Hz, pri čemu se drugi graf ističe po značajnom povećanju frekvencija u tom rasponu. Također se primjećuje nagli pad frekvencije oko 1125 Hz na drugom grafu, dok se na prvom grafu ta pojava ne događa. U rasponu od 2800 do 6050 Hz, frekvencije su više izražene na prvom grafu, osim na frekvenciji od 4670 Hz gdje se pojavljuje nagli skok u drugom grafu.



Slika 37. Predodžba grafa frekvencija prve metode snimanja ride činele

Izvorno autor



Slika 38. Predodžba grafa frekvencija druge metode snimanja ride činele

Izvorno autor

4 ZAKLJUČAK

Zadatak završnog rada bio je istražiti metodu i opisati postupak utvrđivanja frekvencijskih karakteristika seta mehaničko-akustičkih aktuatora tj. proizvoljnog seta bubnjeva. Dodatno, zadatak završnog rada je proučiti i usporediti frekvencijski odziv različitih dijelova bubnjeva te istražiti kako se različite tehnike sviranja i korištenje različitih činela mogu odraziti na frekvencijski raspon zvuka. Na temelju provedene analize bubnjeva u frekvencijskom rasponu, može se zaključiti da različiti bubnjevi i činele proizvode različite frekvencije koje ovise o dimenzijama i materijalu od kojeg su izrađeni. Promjene u obliku ili materijalu bubnja mogu također utjecati na karakteristike zvuka. Analiza frekvencijskog raspona bubnja može biti korisna i u svrhu akustičkog projektiranja, odnosno prilagođavanja akustičkih svojstava prostora u kojem se bubanj koristi. Analiza frekvencijskog sadržaja može pomoći glazbenicima i toncima u postizanju optimalnog zvuka, kao i u prilagođavanju zvuka pojedinog instrumenta u odnosu na ostale instrumente u bendu. Za analizu autor je koristio znanja i vještine stečene tijekom studija na Veleučilištu u Karlovcu. Provedena analiza frekvencijskog sadržaja bubnjeva je vrlo važan alat u glazbenoj produkciji i postizanju visokokvalitetnog zvuka. Ukupno, analiza frekvencijskog raspona bubnja pruža detaljniji uvid u akustična svojstva ovih instrumenata te može biti korisna u različitim područjima, od glazbene industrije do inženjerstva zvuka. Nakon provedene analize frekvencijskog raspona bubnja, zaključeno je da su potrebna daljnja te detaljnija istraživanja kako bi se razumjeli mehanizmi koji utječu na formiranje zvuka kod bubnjeva. Autor se nada kako će ovim provedenim istraživanjem biti inspiriran netko od mlađih kolega s mehatroničkog stručnog studija Veleučilišta u Karlovcu te će nastaviti ovo zanimljivo istraživanje odzivnih karakteristika mehaničko-akustičkih aktuatora i proširiti ga na druge muzičke instrumente.

5 LITERATURA

- [1] Mylandrover, dostupno na: <https://mylandrover.ru/hr/tires-and-wheels/soobshchenie-o-barabanah-istoriya-sozdaniya-udarnoi-ustanovki-istoriya.html>, pristupljeno 06.02.2023.
- [2] Beginnerdrums, dostupno na: <https://beginnerdrums.uk/parts-of-a-drum-kit/> pristupljeno 09.02.2023.
- [3] Drumeo, slika dostupna na: <https://www.drumeo.com/beat/how-to-play-drums/> pristupljeno 10.02.2023.
- [4] Thomman, slika dostupna na: https://www.thomann.de/gb/smile_moongel.htm pristupljeno 10.02.2023.
- [5] Thomman, slika dostupna na: https://www.thomann.de/gb/millenium_sound_control_ringe_standard.htm pristupljeno 10.02.2023.
- [6] Enciklopedija, dostupno na: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=40749> pristupljeno 13.02.2023.
- [7] Mediacollege, slika dostupna na: <https://www.mediacollege.com/audio/microphones/how-microphones-work.html> pristupljeno 13.02.2023.
- [8] Youtube, dostupno na: <https://www.youtube.com/watch?v=mYcgrjEIlbo> pristupljeno 17.02.2023.
- [9] Youtube, dostupno na: <https://www.youtube.com/watch?v=PE6Qn4ZiEyo> pristupljeno 21.02.2023.
- [10] Mediacollege, slika dostupna na: <https://www.mediacollege.com/audio/microphones/dynamic.html> pristupljeno 21.02.2023.
- [11] Mediacollege, dostupno na: <https://www.mediacollege.com/audio/microphones/condenser.html> pristupljeno 24.02.2023.
- [12] Mynewmicrophone, dostupno na: <https://mynewmicrophone.com/the-complete-guide-to-microphone-polar-patterns/> pristupljeno 28.02.2023.
- [13] Arkartech, slika dostupna na: <https://www.arkartech.net/blogs/blog/unidirectional-vs-omnidirectional-microphones> pristupljeno 28.02.2023.

- [14] Shure, slika dostupna na: https://service.shure.com/s/article/difference-between-cardioid-and-supercardioid?language=en_US pristupljeno 28.02.2023.
- [15] Mynewmicrophone, slika dostupna na: <https://mynewmicrophone.com/what-is-a-hypercardioid-microphone-polar-pattern-mic-examples/> pristupljeno 28.02.2023.
- [16] Mynewmicrophone, slika dostupna na: <https://mynewmicrophone.com/what-is-a-bidirectional-figure-8-microphone-with-mic-examples/> pristupljeno 28.02.2023.
- [17] Easytechjunkie, dostupno na: <https://www.easytechjunkie.com/what-is-an-audio-mixer.htm> pristupljeno 02.03.2023.
- [18] Mediacollege, slika dostupna na: <https://www.mediacollege.com/audio/mixer/intro.html> pristupljeno 02.03.2023.
- [19] Musicbliss, dostupno na: <https://www.musicbliss.com.my/blogs/news/analog-mixers-vs-digital-mixers-what-s-the-difference> pristupljeno 05.03.2023.
- [20] Sweetwater, slika dostupna na: <https://www.sweetwater.com/store/detail/MG16XU--yamaha-mg16xu-16-channel-mixer-with-usb-and-fx> pristupljeno 05.03.2023.
- [21] Hioki, dostupno na: <https://www.hioki.com/euro-en/learning/electricity/frequency.html> pristupljeno 07.03.2023.
- [22] Fluke, slika dostupna na: <https://www.fluke.com/en/learn/blog/electrical/what-is-frequency> pristupljeno 07.03.2023.
- [23] Techtargget, dostupno na: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/Nyquist-Theorem> pristupljeno 10.03.2023.
- [24] Musicweb, dostupno na: http://musicweb.ucsd.edu/~trsmyth/digitalAudio171/Nyquist_Sampling_Theorem.html pristupljeno 12.03.2023.
- [25] Pinterest, slika dostupna na: <https://www.pinterest.com/pin/325948091764775113/> pristupljeno 22.05.2023.
- [26] Soundonsound, dostupno na: <https://www.soundonsound.com/techniques/recording-drums> pristupljeno 22.05.2023.
- [27] Iso, dostupno na: <https://www.iso.org/standard/35848.html> pristupljeno 24.05.2023.

6 PRILOZI

POPIS SLIKA

Slika 1. Predodžba bubnjeva te njegovih dijelova

Slika 2. Predodžba gel jastučića za bubnjeve

Slika 3. Predodžba prstena za kontrolu zvuka

Slika 4. Predodžba pozicije membrane u mikrofону

Slika 5. Predodžba poprečnog presjeka dinamičkog mikrofona

Slika 6. Predodžba poprečnog presjeka kondenzatorskog mikrofona

Slika 7. Predodžba polarnog uzorka višesmjernog mikrofona

Slika 8. Predodžba polarnog uzorka kardioidnog mikrofona

Slika 9. Predodžba polarnog uzorka hiperkardioidnog mikrofona

Slika 10. Predodžba polarnog uzorka dvosmjernog mikrofona

Slika 11. Predodžba dijagrama funkcionalnosti miksete

Slika 12. Primjer analogne miksete Yamaha MG16XU

Slika 13. Primjer digitalne miksete Behringer X32

Slika 14. Predodžba frekvencije od 3Hz

Slika 15. Predodžba izolacijske kabine bubnjeva

Slika 16. Predodžba bubnjeva Mapex Mars Bebop Shell Set CIW

Slika 17. Predodžba snimke u Audacity programu

Slika 18. Pozicija mikrofona za snimanje bas bubnja

Slika 19. Predodžba grafa frekvencije prve metode snimanja bas bubnja

Slika 20. Predodžba grafa frekvencije druge metode snimanja bas bubnja

Slika 21. Pozicija mikrofona za snimanje doboša

Slika 22. Predodžba grafa frekvencija prve metode snimanja doboša

Slika 23. Predodžba grafa frekvencija druge metode snimanja doboša

Slika 24. Pozicija mikrofona za snimanje high tom bubnja

- Slika 25. Predodžba grafa frekvencija prve metode snimanja high tom bubnja
- Slika 26. Predodžba grafa frekvencija druge metode snimanja high tom bubnja
- Slika 27. Pozicija mikrofona za snimanje floor tom bubnja
- Slika 28. Predodžba grafa frekvencija prve metode snimanja floor tom bubnja
- Slika 29. Predodžba grafa frekvencija druge metode snimanja floor tom bubnja
- Slika 30. Pozicija mikrofona za snimanje hi-hat činele
- Slika 31. Predodžba grafa frekvencija prve metode snimanja hi-hat činele
- Slika 32. Predodžba grafa frekvencija druge metode snimanja hi-hat činele
- Slika 33. Pozicija mikrofona za snimanje Brilliant Crash (slika lijevo) i Orbis Crash činele (slika desno)
- Slika 34. Predodžba grafa frekvencija snimanja Brilliant Crash činele
- Slika 35. Predodžba grafa frekvencija snimanja Orbis Crash činele
- Slika 36. Pozicija mikrofona za snimanje ride činele
- Slika 37. Predodžba grafa frekvencija prve metode snimanja ride činele
- Slika 38. Predodžba grafa frekvencija druge metode snimanja ride činele

POPIS TABLICA

Tablica 1. Korištena oprema kod snimanja bubnjeva