

# Optimizacija snimanja i projekcije zvuka roga

---

Košec, Blaž

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:116:635645>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-03**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU MUZIČKA AKADEMIJA

VII. ODSJEK

Blaž Košec

OPTIMIZACIJA SNIMANJA I PROJEKCIJE  
ZVUKA ROGA

DIPLOMSKI RAD



ZAGREB, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU MUZIČKA AKADEMIJA

VII. ODSJEK

# OPTIMIZACIJA SNIMANJA I PROJEKCIJA ZVUKA ROGA

DIPLOMSKI RAD

Mentor: prof. dr. sc. Kristian Jambrošić

Komentor: prof. art. Bánk Harkay

Student: Blaž Košec

Ak.god. 2022/2023.

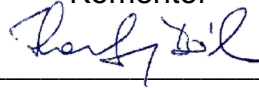
ZAGREB, 2023.

DIPLOMSKI RAD ODOBRILO MENTOR



prof. dr. sc. Kristian Jambrošić

Komentor



prof. art. Bánk Harkay

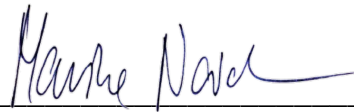
Diplomski rad obranjen ocjenom

odličan (5)

U Zagrebu, 18.9.2023

POVJERENSTVO:

1. prof. art. Marina Novak



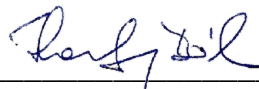
2. prof. dr. sc. Kristian Jambrošić



3. prof. art. Saša Nestorović



4. prof. art. Bánk Harkay



## Sažetak

Rad koji slijedi istražuje važnost projekcija zvuka roga te koliko i kako ona utječe na svirače i publiku. Rad sadrži i objašnjenja različitih parametara koji utječu na rezultat projekcije i širenja zvuka roga. Rad također sadrži i istraživanje koje su pozicije mikrofona oko svirača roga optimalne za različite potrebe. U pitanju su različite uloge svirača u različitim uvjetima kao što je solo rog i rog u orkestru. Mjerenjem i opisom izračuna te pripadajućim grafovima, izvode se općeniti zaključci, koji vrijede u glazbenom svijetu, ali ih se nije dovoljno istražilo. Rad sadrži i anketu kako bi se mogli napraviti primjereniji zaključci o tome što i kako publika čuje.

Ključne riječi: rog, projekcija zvuka, glasnoća, širenje zvuka, pozicioniranje mikrofona

## Summary

This thesis addresses the questions of why and to what extent sound projection is important for horn musicians and the audience. The thesis also contains explanations of various factors influencing the outcome of sound projection and dispersion in the case of the horn. Furthermore, it includes research on the most optimal microphone positions around horn players for various needs, taking into consideration different roles of horn players in different settings, such as solo horn and horn in an orchestra. By means of measurements, calculations, and graphs, some general axioms are deduced, applicable in the world of music, yet not thoroughly explored. Additionally, this thesis includes a survey to facilitate more accurate conclusions regarding what and how the audience perceives.

Keywords: horn, sound projection, sound dispersion, microphone positioning, loudness

# Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Teorijski uvod.....	2
2.1. Povijest, građa, tehničke mogućnosti i osnovna upotreba francuskog roga u orkestru ..	2
2.2. Glasnoća.....	3
2.3. Razina zvučnog tlaka, zvučnog intenziteta i zvučne snage .....	4
2.4. Širenje zvučnih valova.....	5
3. Snimanje zvuka u Koncertnoj dvorani Blagoje Bersa na Muzičkoj akademiji u Zagrebu ....	6
3.1. Opće značajke pokusa.....	6
3.2. Pokus na rogu proizvođača Cornford u tri različita registra .....	8
3.3. Pokus na rogu proizvođača Cornford i korištenje zvona proizvođača Alexander .....	9
3.4. Pokus na rogu proizvođača Alexander .....	11
3.5. Pokus na rogu proizvođača Yamaha .....	11
3.6. Pokus na rogu proizvođača Cornford u tri različita registra kojeg izvodi drugi izvođač .....	12
3.7. Pokus na rogu proizvođača Cornford u tri različita registra u kojem je smanjena masa roga .....	13
3.8. Pokus u kojem se primjenjuju različite pozicije ruke u zvonu .....	14
4. Pokusi prikazani kroz grafove .....	16
4.1. Grafovi pokusa u kojem se koristio rog proizvođača Cornford za tri različita registra 16	
4.2. Prikaz grafova harmonijskog spektra za ton dubokog registra na sva četiri mikrofona .....	21
5. Pozicioniranje mikrofona za potrebe snimanja.....	26
5.1. Snimanje solo roga.....	26
5.2. Snimanje dva rogova.....	27
6. Anketiranje.....	28
6.1. Općenite informacije o anketama .....	28

6.2. Rezultati anketiranja .....	29
6.3. Rezultati ankete dua rogova.....	31
6.4. Izračun prosječne jačine zvuka mikrofona kod dua.....	33
Zaključak.....	35
Bibliografija .....	36
Popis slika .....	37
Popis tablica.....	39

# 1. Uvod

Ovaj diplomski rad napisan je kako bi se istražila i proučila fizikalna i akustička svojstava instrumenta francuskog roga. Tema diplomskog rada odabrana je zbog načina na koji se francuski rog ozvučuje i njegovog specifičnog izgleda i građe, gdje je zvono instrumenta postavljeno u smjeru suprotnom od drugih svirača i publike.

Projekcija zvuka vrlo je bitan faktor između svih mogućih glazbenih parametara, kao što su dinamika, boja tona, artikulacija. Vlastiti interes o projekciji zvuka proizašao je iz znanja i tvrdnji koje su općepoznate i prihvaćene kao najbolje rješenje u svijetu glazbenika, ali su isto tako nedovoljno istražene ili nisu dovoljno potkrijepljene činjenicama, rezultatima mjerenja i izračuna. Opće poznata pravila među glazbenicima, koja su podloga dugogodišnje prakse i učenja zanata primopredajom, zanimljivo je uspoređivati i komentirati s vjerodostojnim i točnim izračunima i rezultatima mjerenja.

U prvom dijelu diplomskog rada nalazi se kratki teorijski dio koji sadržava opis francuskog roga, građu, njegovo djelovanje i ulogu u orkestru. Zatim su opisani opći fizikalni faktori vezani uz jačinu zvuka. Objasnjava se i fizikalna pozadina glasnoće, razlika između razine zvučnog tlaka, zvučnog intenziteta i zvučne snage. Također se opisuje širenje zvučnih valova.

Drugi i treći dio diplomskog rada sadrži eksperimentalna snimanja koja su provedena u Koncertnoj dvorani Blagoje Bersa na Muzičkoj akademiji u Zagrebu i u studiju akademije, u prisutnosti prof. dr. sc. Kristiana Jambrošića i prof. art. Bánka Harkaya. Prikazat će se i komentirati rezultati i grafovi mjerenja iz područja pozicioniranja mikrofona oko instrumenta i s područja projekcije zvuka francuskog roga, s početne točke na pozornici, sve do različitih pozicija u dvorani.

U četvrtom i posljednjem dijelu diplomskog rada prikazat će se i komentirati rezultati dviju anonimnih anketa koje su provedene u krugu profesionalnih glazbenika, no koji nisu profesionalni svirači francuskog roga, kako bi se dobili što vjerodostojniji rezultati. Ankete sadrže snimke iz pokusa te mišljenja ispitanika o kvaliteti snimki. Mišljenja su subjektivna i raznolika, što govori da na području akustike često ne postoji konsenzus.



## 2. Teorijski uvod

### 2.1. Povijest, građa, tehničke mogućnosti i osnovna upotreba francuskog roga u orkestru

Francuski rog (poznat i kao *cornu* na talijanskom, *Horn* na njemačkom i *French horn* na engleskom jeziku) ima iznimno važno mjesto među glazbenim instrumentima zbog svojih karakteristika koje ga svrstavaju među najznačajnije instrumente. Dok je rog u orkestru u prošlosti imao ograničen zvučni opseg, svirala su dva roga, u suvremenom orkestru koji uključuje četiri do deset francuskih rogova, ta praznina se popunjava, a rezultat je impresivan zvuk. Nakon izuma ventila 1813. godine, francuski rogovi su postali sposobni za sviranje kromatskih tonova i istovremeno su mogli preuzimati samostalne glazbene dionice. Osim toga, francuski rog svojim se nježnim i zaobljenim tonom, koji se postiže kružnim usnikom, sjajno integrira s različitim skupinama glazbenih instrumenata, uključujući gudače, puhače i posebno limene instrumente, pri čemu je ključno da francuski rogovi ublažavaju oštrinu zvuka limenih puhačkih instrumenata.

Prije izuma ventila na prirodnom rogu mogao se proizvesti samo ograničeni niz tonova, koji su bili bazirani na prirodnom harmonijskom nizu. Promjena temeljnog tona postizala se umetanjem produžne cijevi, poznate kao luk, na čiji je vrh bio postavljen usnik. Tako je rog mogao postati Es-rog i tako dalje, ovisno o duljini tonalitetne cijevi.

Od sredine 19. stoljeća rogovi s ventilima postali su sveprisutni, a posebno popularan postao je F-rog. F-rog sastavljen je od duge konusne cijevi koja je na početku uska (oko 7,5 mm) i postupno se širi prema kraju. Ima tri ventila kroz koje se strujanje zraka može preusmjeriti u pripadajuće cijevi. Te cijevi se nazivaju i *cugovi*, od njemačke riječi *Stimmzug*, na hrvatskom se zove *cijev za ugadanje*. Srednja (druga) cijev je najkraća, gornja (prva) cijev dvostruko je dulja, dok je donja (treća) najdulja. Pritiskom na drugi ventil, zrak prolazi kroz srednju cijev, što rezultira spuštanjem osnovnog tona i svih njegovih parcijalnih tonova za malu sekundu. Prvi ventil snižava intonaciju za veliku sekundu, dok treći ventil snižava ton za malu tercu. To omogućuje F-rogu da postane kromatski instrument, slično modernim ventilnim trubljama i tubama.

Pri sviranju, lijeva ruka pritišće tipke dok desna ruka, koja se uvijek nalazi blizu zvona, ima jednako važnu ulogu pri ispravljanju intonacije. Štoviše, pomakom desne ruke, pri čemu se

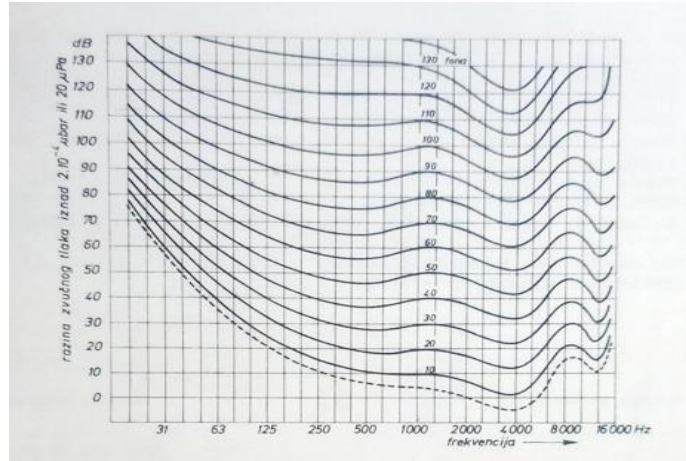
zatvara otvor zvona, moguće je stvarati i prepoznatljive prigušene tonove poznate kao *chiuso* (tal.), *bouché* (fr.), *gestopft* (njem.) i *stopped* (eng.). Prigušeni tonovi su zagasiti i nježni u tihoj dinamici, dok u glasnoj dinamici poprimaju metalni odjek, *cuivré* na (fr.). Za dobivanje ugođaja sviranja 'iz daljine', koristi se i prigušivač u obliku šupljeg stošca koji se zatakne u otvor zvona. Tako odsvirani tonovi nisu karakteristični za prirodni rog. Mnogo su bolji tonovi prigušeni desnom rukom, ali se upotrebljavaju jedni i drugi, ovisno o željenom izrazu.

## 2.2. Glasnoća

Prag čujnosti zvuka varira u različitim frekvencijskim područjima i ovisi o različitim zvučnim tlakovima. Važno je napomenuti da prag čujnosti značajno varira ovisno o frekvenciji zvuka. Ovo pravilo vrijedi i za zvučne tlakove koji su iznad praga čujnosti. Dva zvuka s jednakim zvučnim tlakovima, ali različitim frekvencijama, obično nemaju jednak dojam glasnoće.

U tehničkoj akustici, glasnoća zvuka mjeri se uspoređivanjem s glasnoćom tona frekvencije 1000 Hz. Za ovu svrhu koristi se skala decibela, pri čemu je nulta vrijednost postavljena na referentni zvučni tlak od  $2 \cdot 10^{-4}$  μbar ili 20 μPa. Slušnim uspoređivanjem može se postići ista glasnoća kao što je prisutna u mjerenom zvuku, mijenjajući zvučni tlak kod frekvencije od 1000 Hz. Primjerice, ako se usporedbom utvrdi da mjereni zvuk ima istu glasnoću kao ton frekvencije 1000 Hz pri zvučnom tlaku koji je 80 dB iznad referentne razine, tada se kaže da mjereni zvuk ima razinu glasnoće od 80 fona. Dakle, fon je mjerna jedinica za razinu glasnoće.

Za frekvencije čistih tonova iznad i ispod 1000 Hz, fonska ljestvica nije isto što i skala decibela. Da bi se utvrdila razina glasnoće za ove frekvencije, potrebna su poredbena mjerenja kako biste utvrdili koji zvučni tlak rezultira istom glasnoćom kao kod tona frekvencije od 1000 Hz. Na primjer, utvrđeno je da ton frekvencije 100 Hz ima glasnoću od 80 fona pri zvučnom tlaku od 85 dB iznad referentne razine.



Slika 1 - Krivulje jednake razine glasnoće (izofone) između praga čujnosti i praga bola

### 2.3. Razina zvučnog tlaka, zvučnog intenziteta i zvučne snage

Odnos između zvučnih tlakova i intenziteta omjer je dviju veličina, ali ako se ne zna jedna od tih dviju veličina, formula za izračun zvučnog tlaka ili intenziteta nije korisna. Da bi se to riješilo, potrebno je definirati što predstavlja referentni tlak koji se koristi kao osnovica u nazivniku tog omjera. Referentni zvučni tlak ima vrijednost od  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa. Uz referentni zvučni tlak uspoređan je zvučni intenzitet od  $10^{-12} \frac{W}{m^2}$ . To se zove vrijednost referentnog zvučnog tlaka. Te dvije vrijednosti izmjerene su uz prag čujnosti mladog, zdravog čovjeka kod frekvencije 1000 Hz.

Razina zvučnog tlaka:

$$L_p = 20 \cdot \log \frac{p(Pa)}{2 \cdot 10^{-5}} (dB)$$

Razina zvučnog intenziteta:

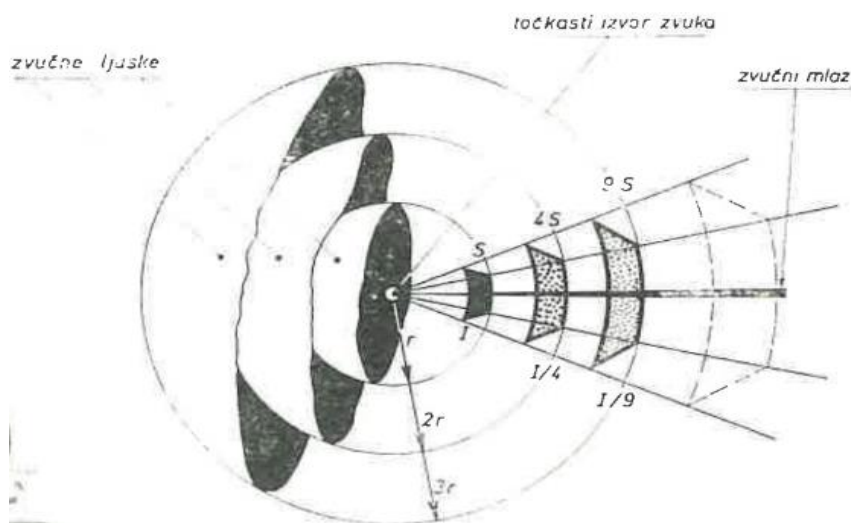
$$L_p = 10 \cdot \log \frac{I \left( \frac{W}{m^2} \right)}{10^{-12}} (dB)$$

Nakon ovih analogija smisleno je govoriti i o razini zvučne snage:

$$L_p = 10 \cdot \log \frac{P (W)}{10^{-12}} (dB)$$

## 2.4. Širenje zvučnih valova

U slobodnom prostoru, idealni izvor zvučne energije šalje zvuk jednakog intenziteta, snage po jedinici površine, u svim smjerovima. Kada se mjeri intenzitet zvuka na sve većim udaljenostima od izvora, primjećuje se da intenzitet opada s povećanjem udaljenosti. Ova pojava nije previše iznenađujuća. Može se primijetiti da udvostručenje udaljenosti rezultira smanjenjem intenziteta na četvrtinu početne vrijednosti, trostruko povećanje udaljenosti rezultira intenzitetom od  $\frac{1}{9}$  početne vrijednosti, dok četverostruko povećanje udaljenosti rezultira intenzitetom od  $\frac{1}{16}$  početne vrijednosti. Zaključuje se da je intenzitet zvuka obrnuto proporcionalan kvadratu udaljenosti. Analiza slike broj 2 otkriva da ista energija putuje kroz površinu na udaljenosti "r" kao i uzastopne segmente sfernih površina na udaljenostima "2r" i "3r".



Slika 2 - Prikaz opadanja intenziteta zvuka ovisno o udaljenosti od izvora, intenzitet zvuka pada sa kvadratom udaljenosti

Kada imamo informaciju o razini zvučnog tlaka  $L_1$  na određenoj udaljenosti  $r_1$  od izvora zvuka, moguće je izračunati razinu zvučnog tlaka  $L_2$  na drugoj udaljenosti  $r_2$ .

$$L_2 = L_1 - 20 \log \log \frac{r_2}{r_1} \text{ (dB)}$$

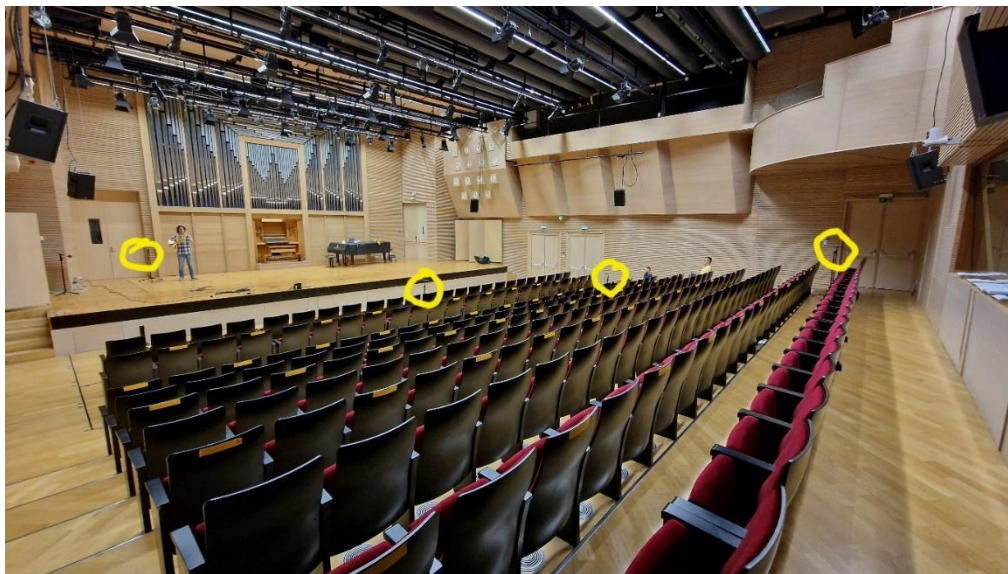
### 3. Snimanje zvuka u Koncertnoj dvorani Blagoje Bersa na Muzičkoj akademiji u Zagrebu

#### 3.1. Opće značajke pokusa

Cilj ovog pokusa bio je izmjeriti tzv. projekciju zvuka roga u dvorani i prikazati razliku u zvučnom intenzitetu, s obzirom na različite pozicije stajanja u dvorani. Time se prikazuje točan izračun dobre i loše projekcije zvuka, s pretpostavkom da je projekcija bolja ako se izgubi što manje intenziteta zvuka od točke sviranja do pozicije mikrofona.

Za potrebe snimanja koristili su se:

- 6-kanalni snimač TASCAM DR-680
- 4 mikrofona Schoeps MK 21
- kablovi za povezivanje snimača i mikrofona



*Slika 3 - Dvorana Bersa, mikrofoni za mjerenje referentne vrijednosti zvuka te tri mikrofona pozicionirana dijagonalno na području dvorane*

Na slici broj 3 prikazana je pozicija svirača i četiri različito pozicionirana mikrofona. Prvi mikrofoni postavljeni su pokraj zvona roga i služili su kao referenca za ostale mikrofone raspodijeljene po dvorani.



*Slika 4 - Pozicija svirača tijekom snimanja na pozornici u Koncertnoj dvorani Blagoje Bersa*

Ostali mikrofoni postavljeni su po dijagonali, tako što je jedan mikrofon pozicioniran na početku i sredini dvorane, drugi na sredini i udesno, a treći na kraju i udesno (prikazano na slici broj 3). Polazišna točka stajanja i sviranja bila je na lijevoj strani pozornice i približno 150 cm udaljeno od zida (prikazano na slici broj 5).



*Slika 5 - Udaljenost svirača od zida iznosila je 150 cm*

### 3.2. Pokus na rogu proizvođača Cornford u tri različita registra

Ideja prvog pokusa je svirati ton *c-mali* u dubokom registru, u srednjem registru ton *g1*, a u visokom registru ton *g2*. Za pokus je korištena duljina cijevi F-roga te su svi tonovi odsvirani korištenjem istog obrasca tipki, sve na osnovnu cijev bez produžetka cijevi pomoću tipki. Time je smanjen utjecaj dodatnih parametara na točnost kasnijih rezultata te su tako svi eksperimenti izvedeni s istom duljinom roga.

Završetkom snimanja, snimka je učitana u program za obradu zvuka *Audacity*. U tom programu izrezan je svaki ton tako da se od svakog tona izdvoji srednji dio gdje je ton bio maksimalno razvijen i ravnian, i svaki od tih segmenata trajao je točno 0.5 sekundi.

Potom je primijenjena funkcija „*Measure RMS*“ (*RMS* – Root mean square) na svakom od tih segmenata. Funkcija *RMS* mjeri srednju vrijednost signala tako da kvadrira svaki uzorak signala, zbroji ih i podijeli s brojem uzoraka, a zatim izračuna korijen te vrijednosti. Time se dobije najtočnija moguća srednja vrijednost izmjeničnih signala.

Završetkom rada na funkciji *RMS*, iz istog vremenskog perioda uzeo se uzorak referentnog tona kao polazišnog, a isto tako i za snimke ostalih mikrofona. Svi rezultati bilježili su se u tablicama. U tablicama se na kraju preračunavao svaki ton tako da su sve referentne vrijednosti imale isti nazivnik. Kako bi se olakšala usporedba, svi rezultati pojedinog registra pomnožili su se s takvim faktorom, da su na kraju sve referentne vrijednosti imale istu pozitivnu težinu. Negativni brojevi su bili posljedica skale (u kojoj program izračunava glasnoću) koja je pomaknuta od 0 dB prema dolje, što znači da su sve vrijednosti u negativnom rasponu.

Tablica broj četiri prikazuje tablicu za prvi pokus mjerenja s rogom proizvođača Cornford.

Tablica 1 - Rezultati prvog mjerenja u kojem je korišten rog proizvođača Cornford

Rog proizvođača Cornford				
	Glasnoća referentne pozicije (dB)	Glasnoća na 1. mikrofona (dB)	Glasnoća na 2. mikrofona (dB)	Glasnoća na 3. mikrofona (dB)
Duboki registar(86 Hz)	50	43,66	43,71	41,32
Srednji registar(246 Hz)	50	42,95	37,17	38,53
Visoki registar(532 Hz)	50	36,62	32,34	38,53

Prvi mikrofon nalazi se najbliže pozornici, drugi je postavljen na nešto većoj udaljenosti, dok je treći mikrofon pozicioniran najdalje od pozornice, odnosno na samom kraju dvorane. Na temelju dobivenih rezultata, primjećujemo očekivan pad glasnoće s povećanjem udaljenosti. U slučaju niskih tonova iz dubokog registra ne opažaju se znatne razlike između prvog i drugog mikrofona. U osnovi, može se zaključiti da niskofrekvencijski tonovi bolje projiciraju u dvoranu od visokofrekvencijskih tonova. Ovo ima smisla jer niske frekvencije nose veću zvučnu energiju od visokih frekvencija. U praksi to znači da visokofrekvencijski tonovi podliježu većoj apsorpciji u mediju od niskofrekvencijskih tonova, što rezultira time da niske frekvencije čujemo na većim udaljenostima od izvora zvuka.

U srednjem registru primjećujemo relativno malu promjenu između trećeg i četvrtog mikrofona. Na primjeru tona od 246 Hz, zvučni tlak značajno opada od pozornice do prvog mikrofona, a također opada i od prvog do drugog mikrofona. Međutim, od drugog do trećeg mikrofona ne opaža se pad, već se čak primjećuje porast glasnoće. To se najvjerojatnije događa zato što je mikrofon na kraju dvorane postavljen vrlo blizu zida, što rezultira odbijanjem zvuka i povećava jakost zvuka na najudaljenijem mikrofonom u usporedbi s mikrofonom koji je bliže pozornici.

U visokom registru, kod tona od 532 Hz, opaža se najveći pad zvučnog tlaka na svakom od sljedećih mikrofona. To se može pripisati većem faktoru apsorpcije za visoke frekvencije u usporedbi s niskim frekvencijama. No, primjećuje se i nepravilnost između posljednja dva mikrofona, pri čemu najudaljeniji mikrofon pokazuje veći zvučni tlak od mikrofona koji je bliže pozornici. To se vjerojatno događa zbog refleksije zvučnih valova od zida. U određenoj mjeri, takvim razlikama može pridonositi i potencijalna razlika u kalibraciji osjetljivosti mikrofona na zvučni tlak.

### 3.3. Pokus na rogu proizvođača Cornford i korištenje zvona proizvođača

#### Alexander

Drugi pokus napravljen je identično prvom pokusu. Odsvirana su tri tona u različitim registrima i korišten je isti instrument. No, na instrumentu je korišteno drugačije zvono proizvođača Alexander. Tablica broj 2 prikazuje rezultate mjerenja drugog pokusa.



Tablica 2 - Rezultati drugog mjerenja u kojem je korišten rog proizvođača Cornford s Alexander zvonom

Rog proizvođača Cornford, zvono proizvođača Alexander				
	Glasnoća referentne pozicije (dB)	Glasnoća na 1. mikrofonu (dB)	Glasnoća na 2. mikrofonu (dB)	Glasnoća na 3. mikrofonu (dB)
Duboki registar(86 Hz)	50	43,67	43,49	41,44
Srednji registar(246 Hz)	50	43,17	40,01	39,75
Visoki registar(532 Hz)	50	38,73	30,52	36,6

Iz dobivenih rezultata zaključuje se da su omjeri prilično slični kao u prethodnoj tablici. Smanjenje glasnoće s povećanjem udaljenosti mikrofona gotovo je jednaka, sugerirajući dosljedno ponašanje akustičkih zakona. U slučaju niskofrekvencijskog tona, rezultat je gotovo jednak. Međutim, najveća razlika uočava se u srednjem registru na mikrofonu koji se nalazi usred dvorane, gdje se Alexanderovo zvono pokazuje nešto učinkovitijim. Slični rezultati primjećuju se i kod tona visokog registra, gdje su mikrofoni usred i na kraju dvorane zabilježili veću glasnoću. Općenito, glasnoće koje su stigle do pojedinačnih mikrofona su prilično slične, s manjim poboljšanjem na određenim pozicijama. S obzirom na konzistenciju uvjeta, što uključuje istog svirača, istu poziciju svirača i isti rog s iznimkom različitih zvona, možemo zaključiti da Alexanderovo zvono u smislu projekcije ponegdje više odgovara. Važno je napomenuti da se Cornford rog izrađuje od drugačijeg materijala u usporedbi s zvonom Alexandra. Cornford rog izrađen je od materijala „*Yellow brass*“, što znači da sadrži otprilike 70% bakra (Cu) i 30% cinka (Zn), dok je Alexander zvono izrađeno od materijala „*Gold brass*“, sastavljenog od otprilike 85% bakra (Cu) i 15% cinka (Zn), uz prisutnost olova (Pb) i aluminijsa (Al). Stoga, razlika ne leži samo u proizvođaču već i u samom materijalu.

### 3.4. Pokus na rogu proizvođača Alexander

Treći pokus napravljen je na isti način kao i prethodna dva, ali ovoga puta se koristio rog drugog proizvođača. Odsvirala su se tri tona u različitim registrima. U nastavku se nalazi tablica broj 3 koja prikazuje rezultate mjerenja pokusa broj 3.

*Tablica 3 - Rezultati trećeg mjerenja u kojem je korišten rog proizvođača Alexander*

<b>Rog proizvođača Alexander</b>				
	Glasnoća referentne pozicije (dB)	Glasnoća na 1. mikrofonu (dB)	Glasnoća na 2. mikrofonu (dB)	Glasnoća na 3. mikrofonu (dB)
Duboki registar(86 Hz)	50	43,58	43,57	41,34
Srednji registar(246 Hz)	50	42,62	36,48	36,36
Visoki registar(532 Hz)	50	38,1	37,94	29,34

Iz ove tablice primjećujemo iznimno male razlike u odsviranom dubokom tonu između roga Cornford i roga Alexander. Male razlike u korist Alexander roga počinju se pojavljivati u srednjem frekvencijskom registru. Najznačajnije razlike opažamo u visokofrekvencijskom tonu. Na temelju ovih rezultata možemo zaključiti da rog proizvođača Alexander pruža bolju projekciju u usporedbi s rogom proizvođača Cornford.

### 3.5. Pokus na rogu proizvođača Yamaha

Sljedeći pokus napravljen je na isti način kao i prethodni pokusi. Koristio se rog proizvođača Yamaha. Odsvirala su se tri zadana tona u različitim registrima. U nastavku se nalazi tablica broj 4 koja prikazuje rezultate mjerenja pokusa broj četiri.

Tablica 4 - Rezultati četvrtog mjerenja u kojem je korišten rog proizvođača Yamaha

Rog proizvođača Yamaha				
	Glasnoća referentne pozicije (dB)	Glasnoća na 1. mikrofону (dB)	Glasnoća na 2. mikrofону (dB)	Glasnoća na 3. mikrofону (dB)
Duboki registar(86 Hz)	50	45,95	41,28	40,5
Srednji registar(246 Hz)	50	39,98	39,2	36,19
Visoki registar(532 Hz)	50	33	27,52	24,96

Uspoređujući ovaj pokus s pokusom u kojem je korišten rog proizvođača Cornford, primjećujemo da je Yamaha rog u izračunima niskog frekvencijskog i srednjeg frekvencijskog registra u globalu vrlo sličan, s malim promjenama. Međutim, velika razlika pojavljuje se u visokofrekvencijskom tonu. Možemo zaključiti da Yamaha rog ima lošije karakteristike u usporedbi s Cornford rogom. Uočavaju se znatno manje glasnoće na sva tri mikrofona.

### 3.6. Pokus na rogu proizvođača Cornford u tri različita registra kojeg izvodi drugi izvođač

U sljedećem pokusu drugi izvođač izvodi ista tri zadana tona na jednakoj duljini cijevi i s istim usnikom. Ideja pokusa bila je demonstrirati kako rog, kao i izvođač, njegovo tijelo i način sviranja, mogu utjecati na projekciju zvuka u dvorani. U nekim frekvencijskim registrima primjećuju se gotovo identični rezultati, dok u drugim registrima dolazi do značajnih razlika.

Tablica 5 - Rezultati petog mjerenja u kojem je korišten rog proizvođača Cornford, drugi izvođač

<b>Rog proizvođača Cornford, drugi izvođač</b>				
	Glasnoća referentne pozicije (dB)	Glasnoća na 1. mikrofONU (dB)	Glasnoća na 2. mikrofONU (dB)	Glasnoća na 3. mikrofONU (dB)
Duboki registar(86 Hz)	50	43,2	41,34	40,85
Srednji registar(246 Hz)	50	38,19	37,5	39,08
Visoki registar(532 Hz)	50	32,03	14,58	23,53

### 3.7. Pokus na rogu proizvođača Cornford u tri različita registra u kojem je smanjena masa roga

U ovom pokusu izvođač svira na isti način kao u prethodnim eksperimentima, izvođeći tri različita tona u različitim frekvencijskim registrima, dok se bilježi rezultat glasnoće na pojedinačnim mikrofONIMA. Kako bi se istražio utjecaj mase na projekciju zvuka u dvorani, uklonjene su sve nepotrebne cijevi koje nisu potrebne za izvođenje zadana tri tona te su odvinuta sva četiri poklopca na ventilima.

Tablica 6 - Rezultati šestog mjerenja u kojem je korišten rog proizvođača Cornford i kojem je smanjena masa

Rog proizvođača Cornford, smanjena masa				
	Glasnoća referentne pozicije (dB)	Glasnoća na 1. mikrofONU (dB)	Glasnoća na 2. mikrofONU (dB)	Glasnoća na 3. mikrofONU (dB)
Duboki registar(86 Hz)	50	47,03	45,24	43,44
Srednji registar(246 Hz)	50	46,87	40,71	45,58
Visoki registar(532 Hz)	50	51,95	38,06	43,14

U ovom pokusu postignuti su najbolji rezultati, pri čemu su svi rezultati u svim frekvencijskim registrima bolji od svih prethodnih pokusa. Najveća razlika primjećuje se u visokom frekvencijskom registru. Može se zaključiti da smanjenje materijala definitivno ima pozitivan utjecaj na projekciju zvuka. Važno je napomenuti da ovo nije uvijek optimalno za sviranje u svim situacijama. Primjerice, kod izrazito glasnog sviranja ključna je masa jer pomaže održati instrument stabilnim, čini ton fokusiranim i omogućuje postizanje visokih glasnoća koje ne bi bile dostupne s manjom masom instrumenata. Masa također pruža stabilnost tonu i druge važne karakteristike.

### 3.8. Pokus u kojem se primjenjuju različite pozicije ruke u zvonu

U sljedećem pokusu svirač izvodi samo tonove srednjeg frekvencijskog registra. Svaki put kad izvede novi ton, mijenja poziciju ruke u zvonu. Prva pozicija podrazumijeva da je ruka potpuno izvan zvona, druga pozicija uključuje ruku unutar zvona s vrlo otvorenim položajem, treća pozicija je ona u kojoj ruka stoji unutar zvona u uobičajenom položaju, četvrta pozicija uključuje da ruka zatvara zvono više nego uobičajeno, peta pozicija znači da ruka zatvara zvono jako, a šesta pozicija uključuje da ruka stoji točno usred zvona, ne dodirujući ni desni ni lijevi rub zvona. Metoda „Schmid“ dobila je ime prema poznatom njemačkom hornistu i proizvođaču rogova. On tvrdi da je ova pozicija ruke optimalna za sviranje roga jer ne prigušuje

nijednu površinu zvona, za razliku od uobičajene pozicije ruke gdje je ruka postavljena uz „rub“ ili metalnu površinu unutar zvona.

*Tablica 7 - Rezultati sedmog mjerenja u kojem je korišten rog proizvođača Cornford, s različitim pozicijama ruke u zvonu*

<b>Rog proizvođača Cornford, srednji registar</b>				
	Glasnoća referentne pozicije (dB)	Glasnoća na 1. mikrofONU (dB)	Glasnoća na 2. mikrofONU (dB)	Glasnoća na 3. mikrofONU (dB)
Pozicija 1 - Ruka izvan zvona	50	42,09	35,54	39,5
Pozicija 2 - Ruka u zvonu, ali jako otvorena	50	42,9	38,49	38,39
Pozicija 3 - Uobičajena pozicija ruke u zvonu	50	46,16	41,83	40,3
Pozicija 4 - Ruka pritvara zvono više nego uobičajeno	50	42,47	38,48	34,93
Pozicija 5 - Ruka jako pritvara zvono	50	41,68	42,03	39,88
Pozicija 6 - Ruka na sredini zvona, tzv. "Schmid metoda"	50	46,23	40,51	39,9

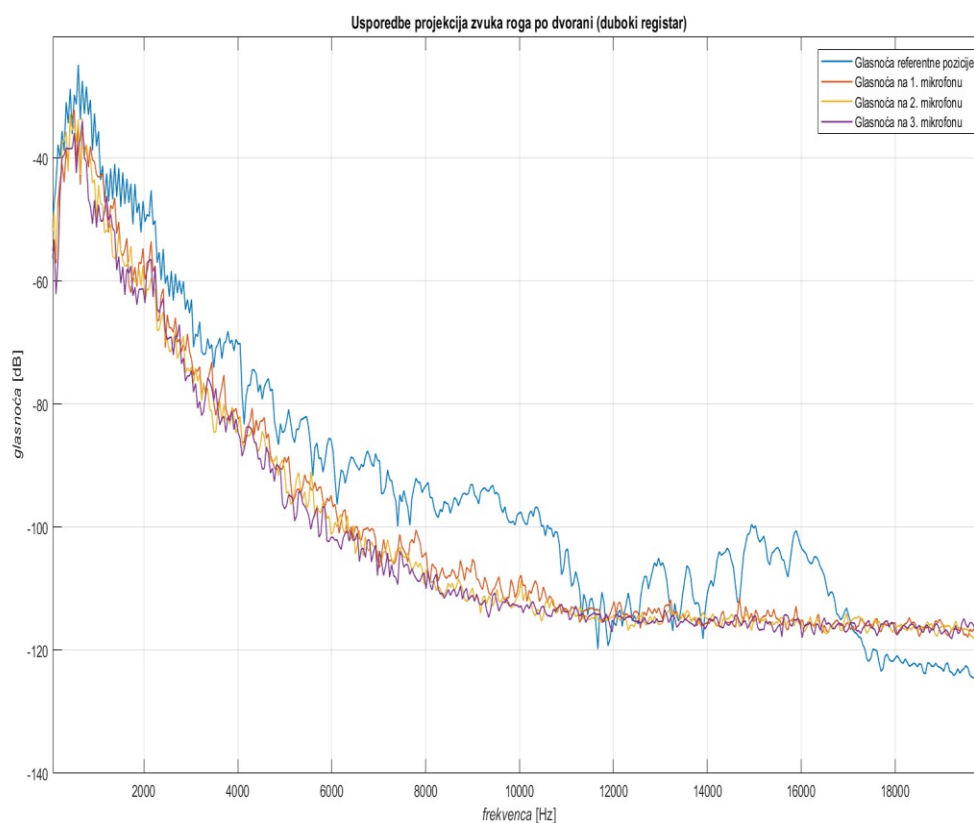
Pokus broj sedam pokazao je zanimljive izračune i zaključke. Očekivalo se da će pozicija ruke potpuno izvan zvona pružiti najbolju projekciju zvuka, no to se nije potvrdilo. Uobičajena pozicija ruke pokazala se kao najbolja za projekciju zvuka. Uobičajena pozicija ruke, na kraju krajeva, ima smisla jer postoji razlog zašto se rog svira na određeni način. Pozicija ruke ima važnu ulogu u stvaranju specifičnog zvuka instrumenta, ona pomaže u intonaciji i stabilnosti u visokom registru i često se koristi za različite efekte u suvremenoj glazbi. Pokazalo se da je projekcija zvuka najbolja upravo u uobičajenoj poziciji ruke.

Druga najbolja pozicija bila je tzv. „Schmid metoda“ koja je dala vrlo slične rezultate kao uobičajena pozicija ruke. Malo neočekivano, pritvaranje ruke unutar zvona umjesto uobičajenog položaja rezultiralo je samo malim gubicima glasnoće na drugim mikrofONIMA. Očekivala se veća razlika, posebno na najudaljenijem mikrofONU. Vjerojatno bi se veća razlika mogla primijetiti u većoj dvorani, ali sve u svemu, pritvaranje ruke ima utjecaj na projekciju zvuka, ali ne u vrlo velikoj mjeri.

## 4. Pokusi prikazani kroz grafove

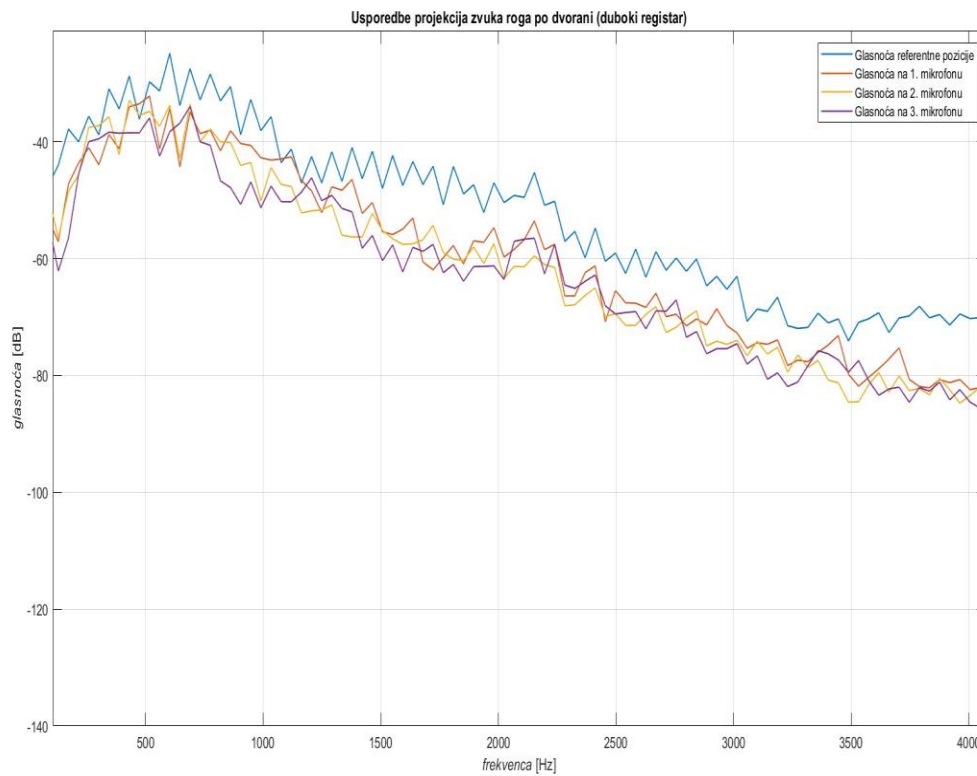
### 4.1. Grafovi pokusa u kojem se koristio rog proizvođača Cornford za tri različita registra

Grafovi su se izrađivali u programskoj aplikaciji Matlab. Slično kao i u prijašnjim tablicama, prvo je bilo potrebno iz programa Audacity dobiti podatke za harmonijski spektar svakog tona posebno. U programu Audacity izračunao se frekvencijski spektar te su se numerički podaci iz tog spektra izvozili u Excel tablicu. Tu Excel tablicu zatim se trebalo uvesti u Matlab i izraditi sliku u kojoj, u jednom prikazu, se može prikazati više grafova. Izradili su se grafovi koji prikazuju glasnoću ovisnosti o frekvenciji i to posebno za duboki, srednji i visoki registar.



Slika 6 - Graf glasnoće ovisno o frekvenciji (prikazano za 4 mikrofona); ton dubokog registra

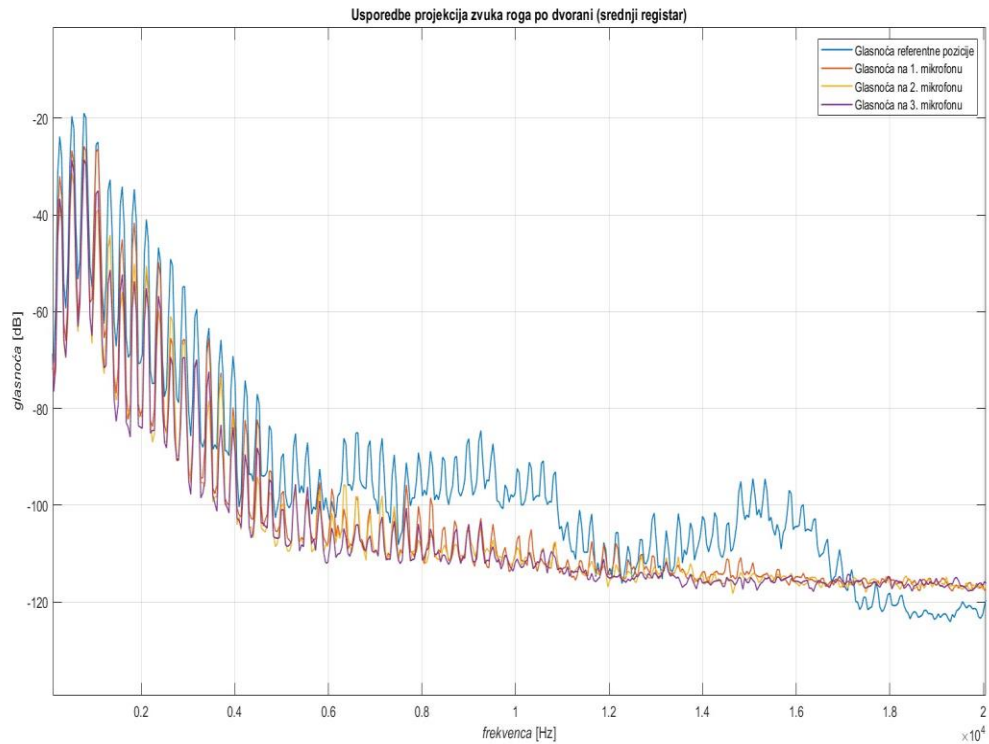
Gornji graf prikazuje glasnoću dubokog tona (86 Hz) i njegovih viših harmonijskih komponenata za sva četiri mikrofona. Može se primijetiti da se, u globalu gledano, glasnoća smanjuje za svaku sljedeću višu frekvencijsku (harmonijsku) komponentu. Najveća odstupanja između referentne vrijednosti glasnoće i glasnoće ostalih mikrofona javljaju se u rasponu između 800 Hz i 1100 Hz.



*Slika 7 - Uvećani graf glasnoće ovisno o frekvenciji; ton dubokog registra*

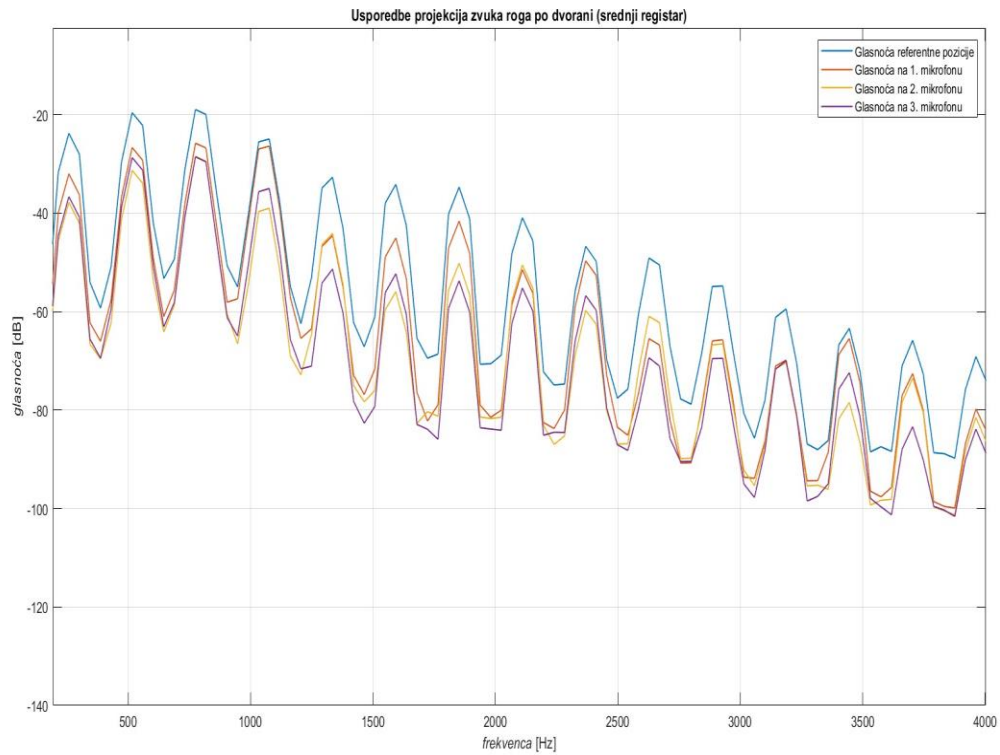
Graf na slici broj 7 prikazuje uvećani prvi dio grafa glasnoće dubokog tona roga (86 Hz) i njegovih više harmonijskih komponenti za sva četiri mikrofona.





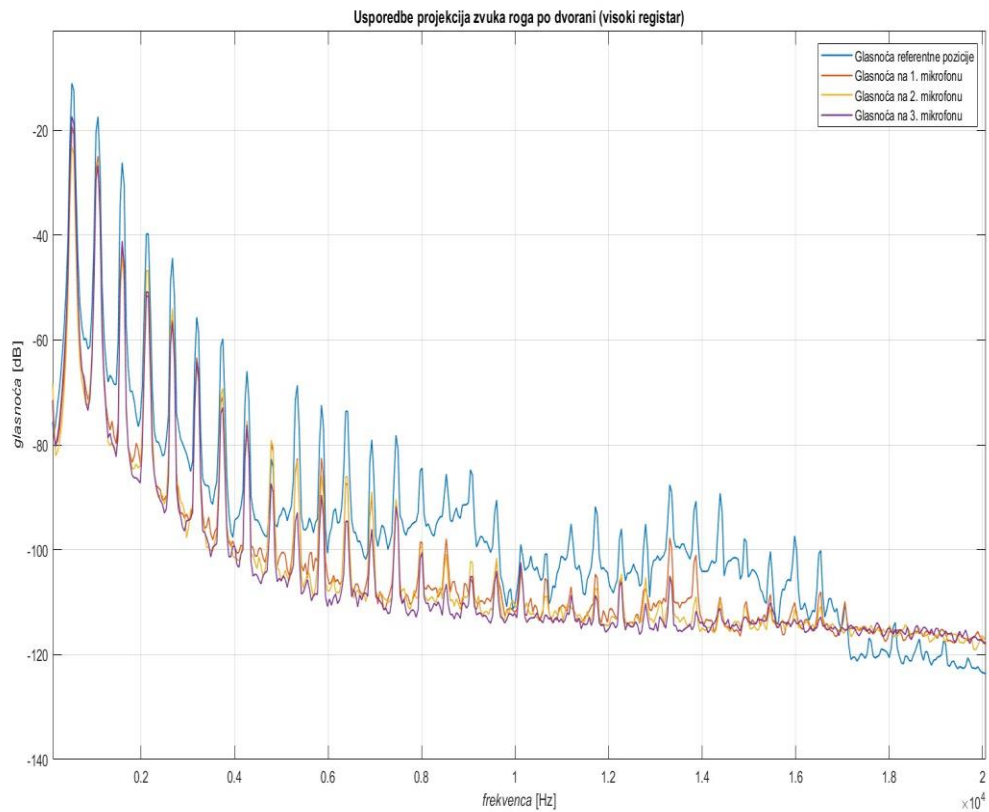
*Slika 8 - Graf glasnoće ovisno o frekvenciji (prikazano za 4 mikrofona); ton srednjeg registra*

Graf na slici broj 8 prikazuje glasnoću srednjeg tona roga (246 Hz) i njegovih više harmonijskih komponenti za sva četiri mikrofona. Ponovno se može primijetiti da je najveće isticanje harmonijskih komponenti između 800 Hz do 1100 Hz, a također između 1400 Hz i 1700 Hz.



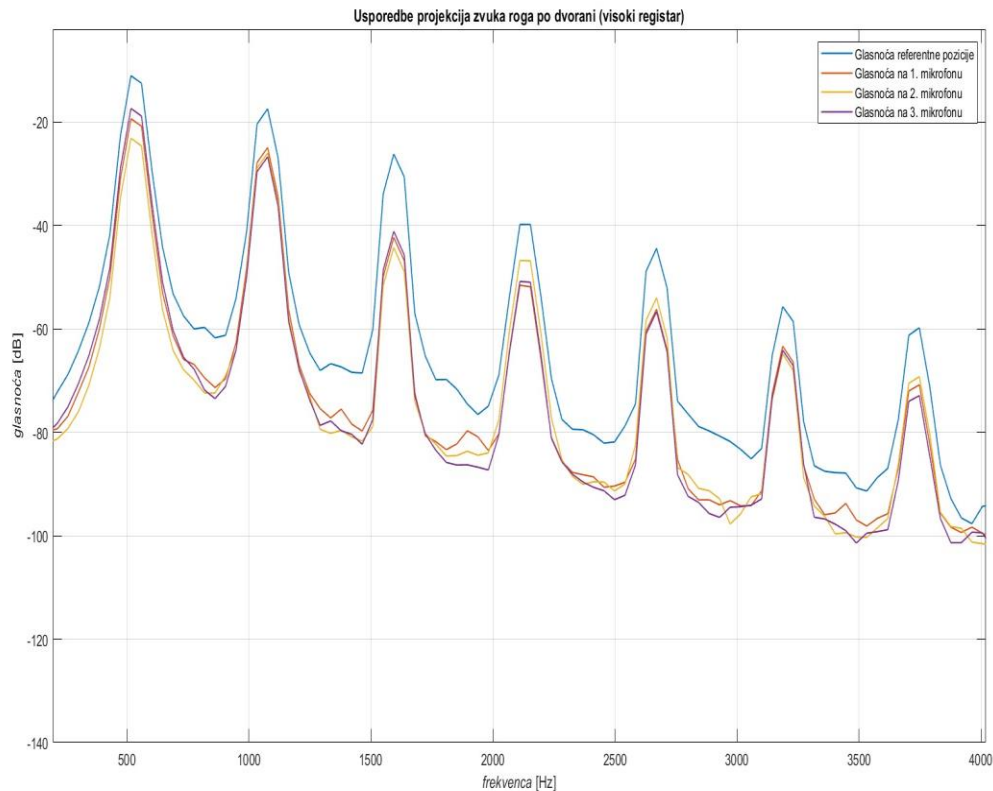
*Slika 9 - Uvećani graf glasnoće ovisno o frekvenciji; ton srednjeg registra*

Graf na slici broj 9 prikazuje uvećani prvi dio grafa glasnoće srednjeg tona roga (246 Hz) i njegovih viših harmonijskih komponenti za sva četiri mikrofona.



*Slika 10 - Graf glasnoće ovisno o frekvenciji (prikazano za 4 mikrofona); ton visokog registra*

Graf na slici broj 10 prikazuje glasnoću visokog tona roga (532 Hz) i njegovih više harmonijskih komponenti za sva četiri mikrofona. Rezultati pokazuju najveću apsorpciju više harmonijskih komponenti između 800 Hz do 1000 Hz, između 1100 Hz i 1200 Hz i između 1400 Hz i 1500 Hz.

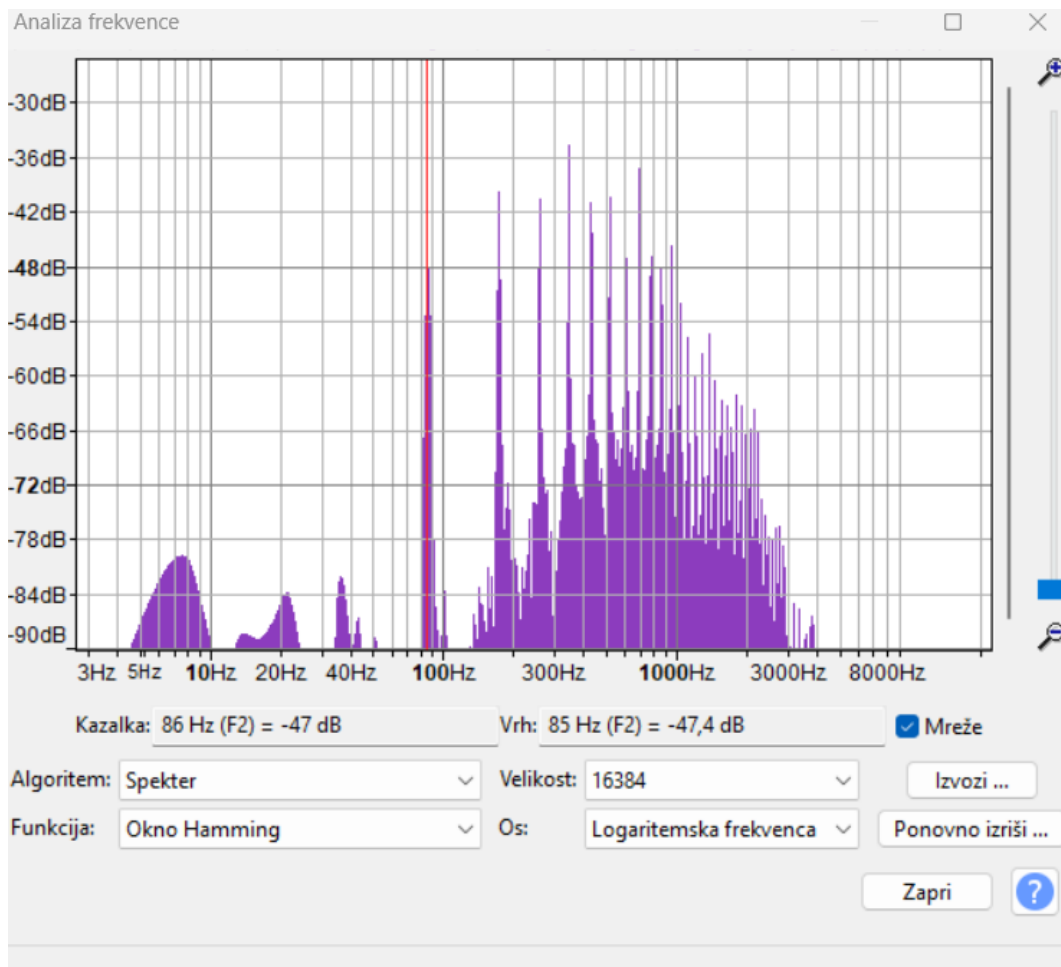


Slika 11 - Uvećani graf glasnoće ovisno o frekvenciji; ton visokog registra

Graf na slici broj 11 prikazuje uvećani prvi dio grafa glasnoće visokog tona roga (532 Hz) i njegovih više harmonijskih komponenti za sva četiri mikrofona.

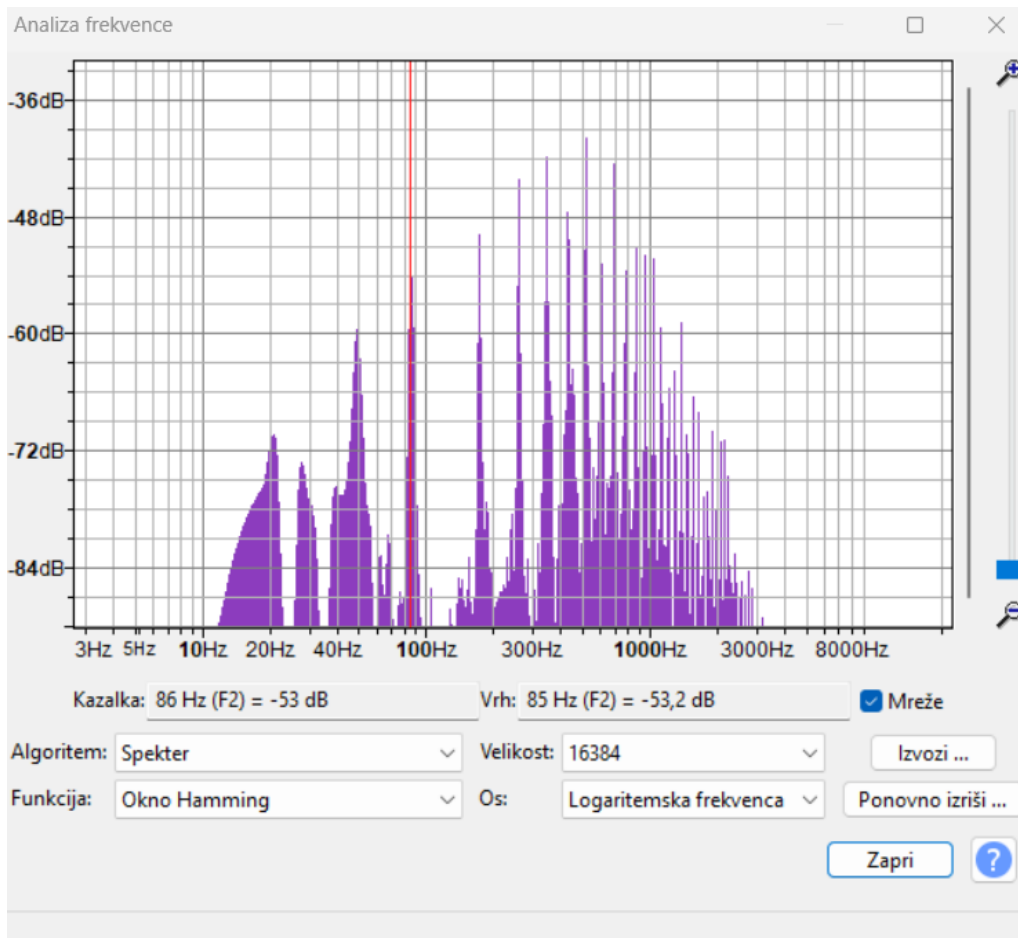
#### 4.2. Prikaz grafova harmonijskog spektra za ton dubokog registra na sva četiri mikrofona

Postupak izrade sljedećih grafova ostao je nepromijenjen, kao i za izradu prethodnih grafova. U programu *Audacity* označila se sredina tona iz dubokog registra za sva četiri mikrofona. Potom se upotrijebila funkcija „Analiziraj“ i „Nacrtaj spektar“ te se odabrao *Hammingov* prozor i preciznost ispisa od 16 384 uzoraka.



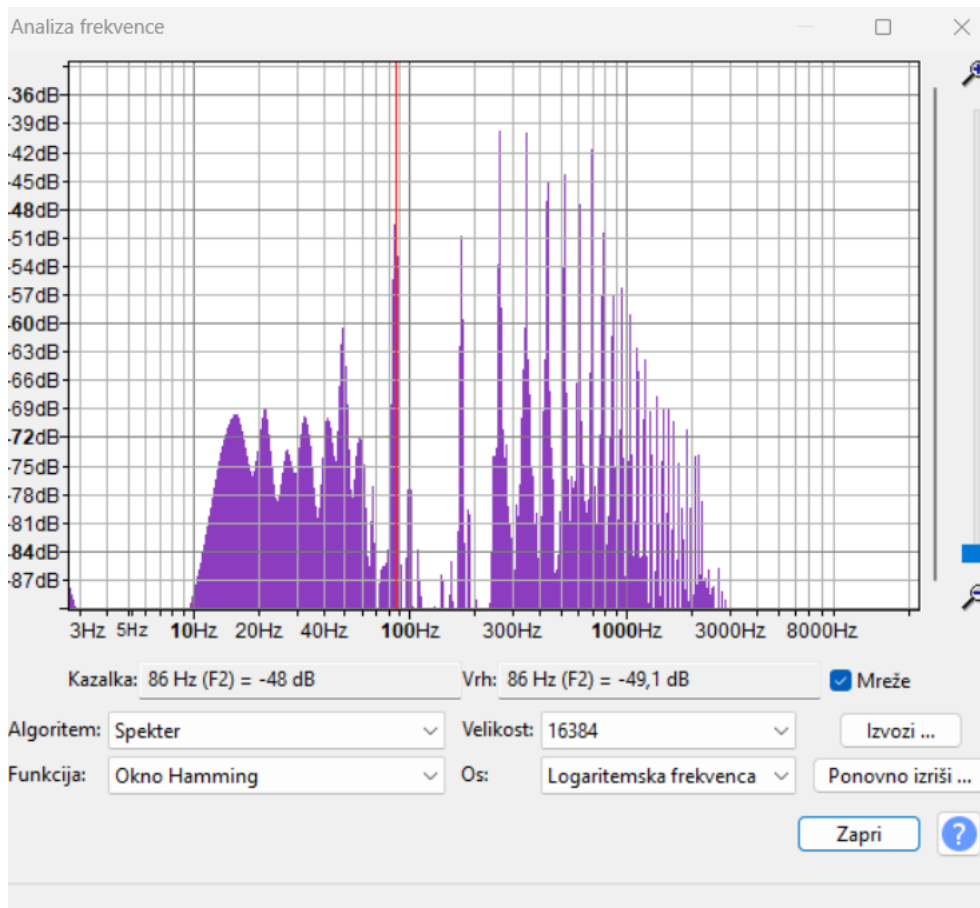
*Slika 12 - Graf harmonijskog spektra dubokog tona na referentnom mikrofONU*

Ako se još posebno prouči vršna vrijednost s prikaza na slici broj 12, može se primijetiti da, primjerice, u našem referentnom zapisu postoji osnovna harmonijska amplituda od -47 dB.



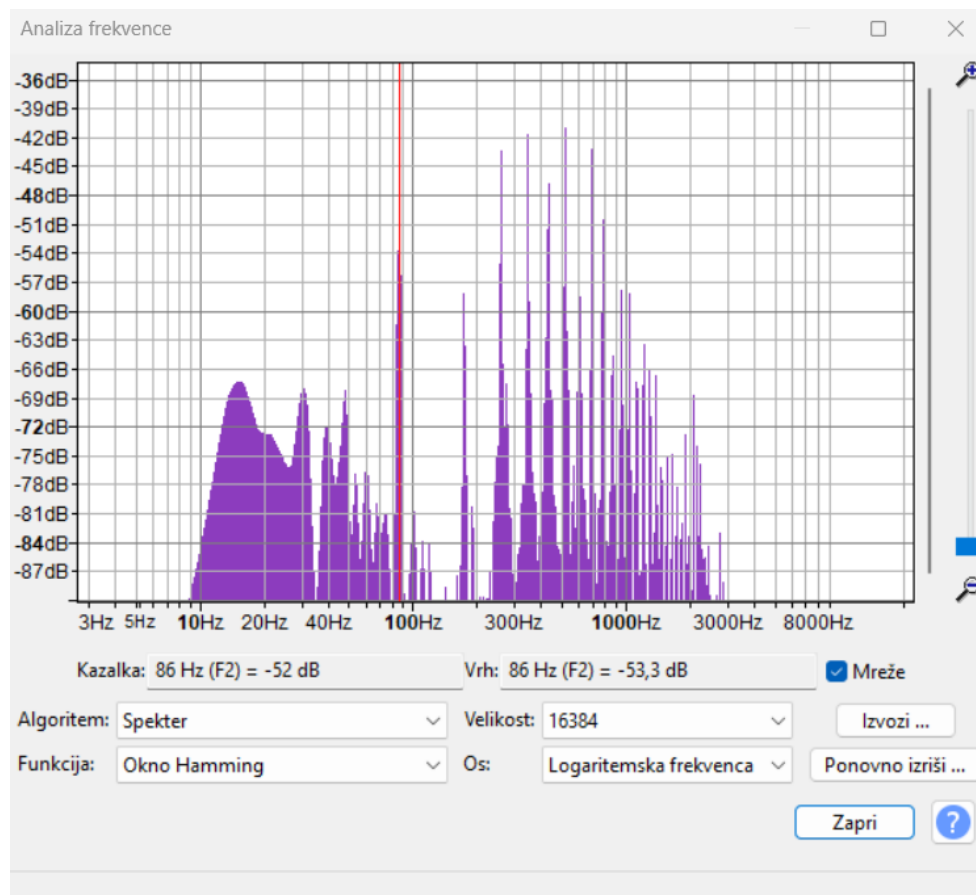
*Slika 13 - Graf harmonijskog spektra dubokog tona na prvom mikrofonu*

Na prvom mikrofonu udaljenom od pozornice, vršna vrijednost prvog harmonika već se smanjuje; za ton od 86 Hz, ta vrijednost glasnoće iznosi -53 dB. Na spektru prvog mikrofona udaljenog od pozornice, još je vidljivije koliko prvih deset viših harmonika zapravo imaju veću amplitudu od prvog osnovnog harmonika.



*Slika 14 - Graf harmonijskog spektra dubokog tona na drugom mikrofону*

Zanimljivo je, da se na trećem mikrofону vršna vrijednost opet povisuje, dakle sada ona iznosi -48 dB. Razlog može stajati i u nepotpunoj kalibraciji osjetljivosti zvučnog tlaka mikrofona.



*Slika 15 - Graf harmonijskog spektra na trećem mikrofonu*

Na trećem mikrofonu, najudaljenijem od pozornice, može se opet primijetiti pad vršne vrijednosti osnovnog harmonika. On iznosi – 52 dB.

Treba se imati na umu, da se ipak gledaju vršne vrijednosti, i to samo prvog harmonika. To znači da zbroj svih sljedećih viših harmonika tog tona mogu povisiti ili sniziti čujni osjećaj za određeni ton. Iz tog razloga je i potrebno zbrojiti sve više harmonike i izračunati prosječnu energiju snimljenog tona.



## 5. Pozicioniranje mikrofona za potrebe snimanja

Budući da je rog iznimno specifičan instrument s izvorom zvuka usmjerenim unatrag, odnosno zvono je usmjereno unatrag, postavljanje mikrofona za snimanje ovog instrumenta predstavlja zanimljivo pitanje. To ovisi o različitim faktorima, uključujući prostor u kojem se snima i sastav ansambla. Publika uvijek sluša rog s bočne strane, s obzirom na to da je zvono roga usmjereno suprotno od publike. Postavlja se pitanje treba li ga ozvučiti s prednje strane ili sa stražnje strane, gdje se nalazi zvono. Kako postaviti mikrofona kada rog svira kao solo instrument i kada je dio orkestra, dva su pitanja na koja se pokušalo odgovoriti putem ankete.

### 5.1. Snimanje solo roga

Prvi dio snimanja odvijao se u prostorijama studija za snimanje na Muzičkoj akademiji u Zagrebu. Snimljena je jedna fraza iz Mozartovog koncerta za rog i orkestar br. 1 u D-duru. Snimljen je samo solo rog bez orkestralne ili klavirske pratnje, pri čemu je oko izvođača postavljeno šest različito pozicioniranih mikrofona.



*Slika 16 - Prikaz šest različito pozicioniranih mikrofona za snimanje solo roga*

## 5.2. Snimanje dua rogova

Drugi dio snimanja je napravljen u Koncertnoj dvorani Blagoje Bersa, također na Muzičkoj akademiji u Zagrebu. Snimljena je kratka fraza iz opere „Figaro“ W. A. Mozarta u izvedbi dva hornista.

U drugom dijelu eksperimenta postavilo se pitanje kako najbolje postaviti mikrofone oko izvođača, a da se zvuk roga zabilježi tako da zvuči što prirodnije. Dva svirača roga su sjedila i odsvirala kratku frazu, dok su oko njih bila postavljena četiri mikrofona, kako je prikazano na slici broj 17.



*Slika 17 - Prikaz četiri različito pozicioniranih mikrofona za snimanje dua*

## 6. Anketiranje

### 6.1. Općenite informacije o anketama

Nakon snimanja napravljene su dvije slušne ankete, kako bi se prikazali što relevantniji rezultati.

U prvoj anketi je ispitanicima objašnjen eksperiment na sljedeći način:

*»Snimljen je solo rog. Sve snimke su uzete iz istog pokušaja, sa šest različito pozicioniranih mikrofona. Korišteni mikrofoni su identični, ali su postavljeni na različitim pozicijama oko izvodača koji stoji. Svaka od šest donjih snimaka je preuzeta uvijek samo iz jednog od mikrofona.«*

Postavljena su dva pitanja:

*»Na kojoj snimci po vašem rog zvuči najprirodnije (kako ste vi navikli da rog zvuči?)«*

*»A na kojoj snimci po vašom mišljenju rog zvuči najbolje (kako bi ga vi voljeli slušati, može biti isti odgovor, a ne mora)?«*

U drugoj anketi je eksperiment objašnjen na sljedeći način:

*»Snimljen je duo rogova. Sve snimke su uzete iz istog pokušaja, sa četiri različito pozicionirana mikrofona. Korišteni mikrofoni su identični, ali su postavljeni na različitim pozicijama oko dva izvodača koja sjede. Svaka od četiri donje snimke je uvijek preuzeta samo iz jednog od mikrofona.«*

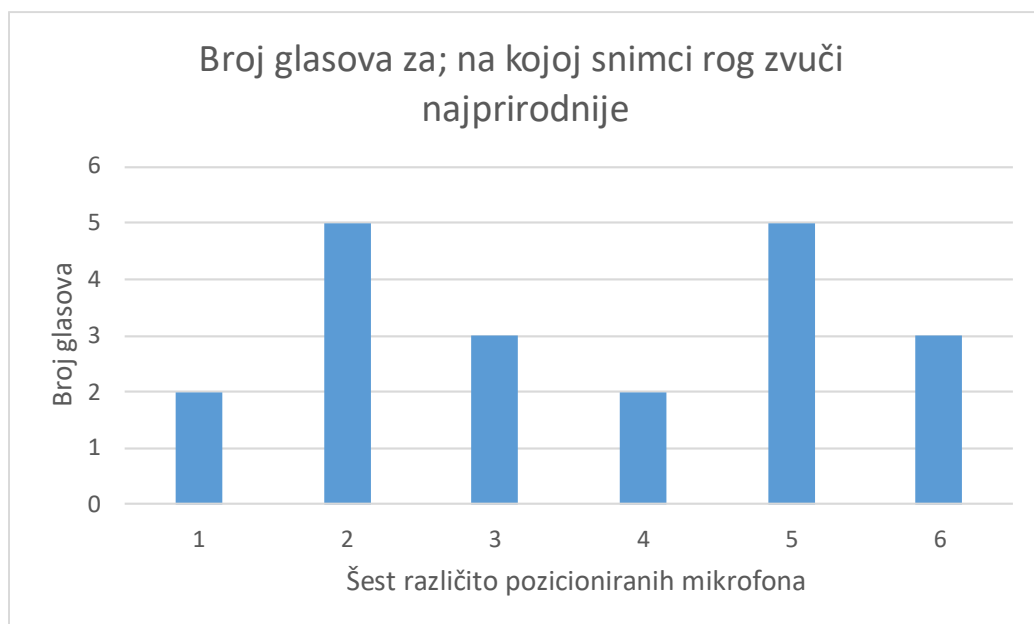
Tu su također bila postavljena identična dva pitanja.

Anketa je bila anonimna i obuhvatila je 20 ispitanika. Svi ispitanici bili su studenti muzičke akademije ili diplomirani profesionalni glazbenici. Svi ispitanici su već bili upoznati s rogom, odnosno u svojoj su ga karijeri slušali nebrojeno puta. Važno je naglasiti da, ipak, nitko od ispitanika nije svirač roga, jer se smatra da bi takvi svirači bili prestručne osobe za anketiranje te da se ne bi došlo do željenih rezultata.

## 6.2. Rezultati anketiranja

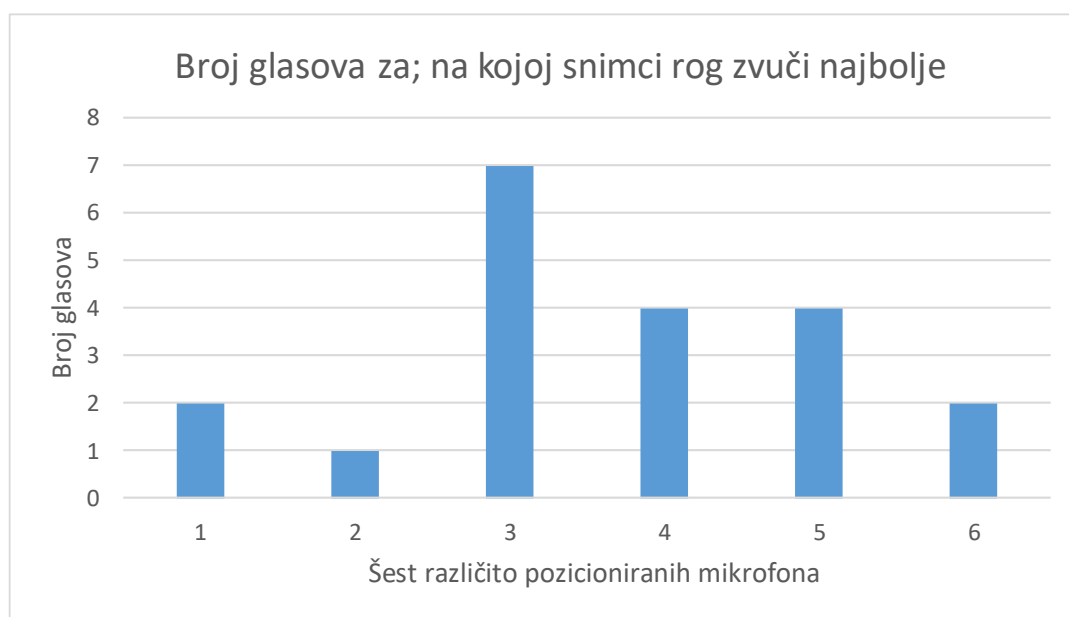


Slika 18 - Prikaz pozicioniranja šest mikrofona oko izvođača tijekom snimanja



Slika 19 - Graf broja glasova za kategoriju „solo rog“, ovisno o šest različito pozicioniranih mikrofona

Odgovori dvadesetero ispitanika prikazani su grafički na slici broj 19. Najprirodnije im zvuči pozicija mikrofona broj dva i pozicija mikrofona broj pet. Potrebno je napomenuti da je, kod ove ankete, izrazito velik faktor subjektivnost. Ovdje nema ispravnih ili neispravnih odgovora. Iz grafa se ne bi mogli zaključiti relevantni zaključci jer, statistički gledano, dobili su se prilično raspodijeljeni odgovori, koji su također dobro raspodijeljeni i aritmetički jer mikrofona broj dva i mikrofona broj pet, koji su dobili najviše glasova, podjednako su udaljeni (za jedan) od krajnje lijevog mikrofona i od krajnje desnog mikrofona.



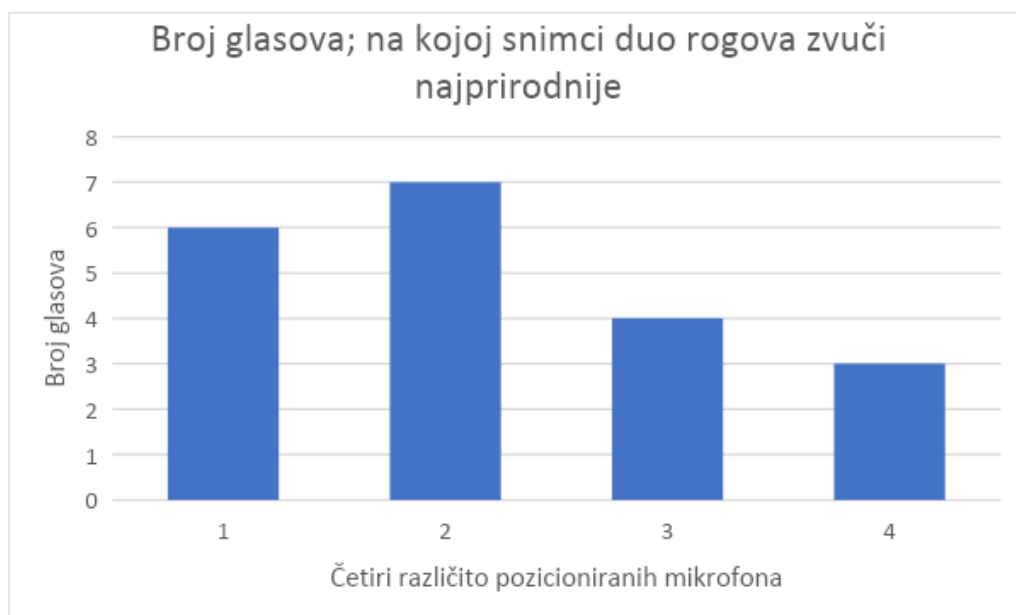
Slika 20 - Graf broja glasova za kategoriju „solo rog“, ovisno o šest različito pozicioniranih mikrofona

Iz odgovora na pitanje „Na kojoj snimci vama rog zvuči najbolje“, mogu se izvesti neki zaključci. Najviše ljudi glasalo je za mikrofona broj tri, a zatim za mikrofona broj četiri i pet. Ljudi bi radije slušali snimku roga dok je mikrofona postavljen relativno blizu zvona, ali opet ne u njegovoj neposrednoj blizini. Također im se svidio malo udaljeniji mikrofona od zvona, ali ipak ne najviše udaljeni. Moglo bi se reći da je ovaj rezultat bio očekivan. Nakon ove ankete moglo bi se zaključiti da je najbolje kada mikrofona stoji na pozornici, u svrhu snimanja solista blizu zvona, ali ipak malo odmaknut od njegove neposredne blizine.

### 6.3. Rezultati ankete dua rogova

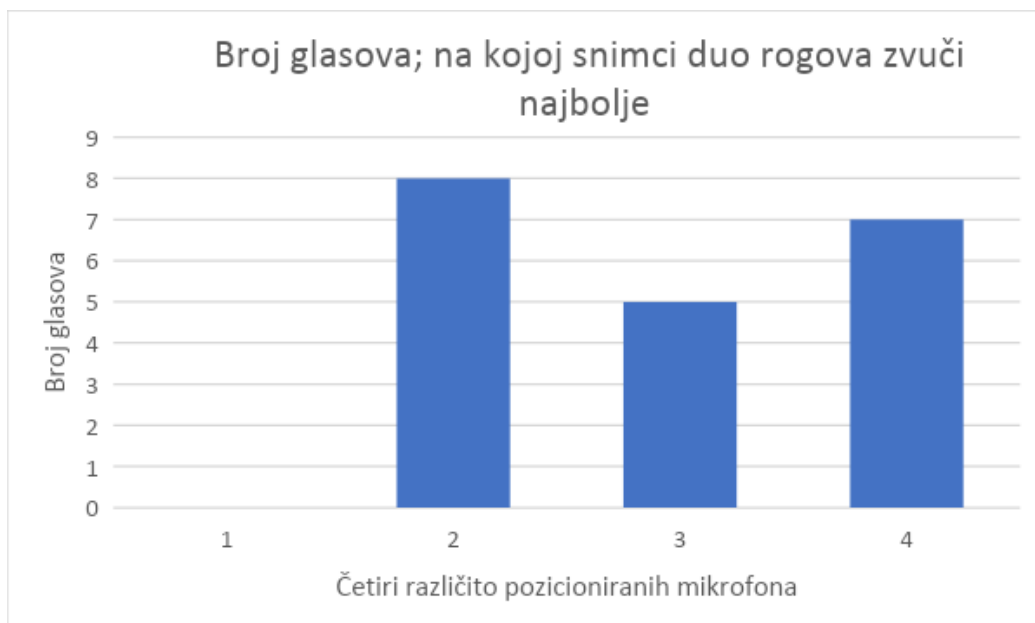


Slika 21 - Prikaz pozicija mikrofona označenih od 1 do 4



Slika 22 - Graf broja glasova za kategoriju „duo“, ovisno o četiri različito pozicioniranih mikrofona

Kod ankete duo rogova, po pitanju „Na kojoj snimci vama rog zvuči najbolje“, moglo se primijetiti da se ispitanicima najviše sviđa pozicija broj jedan i pozicija broj dva. Mikrofon s pozicije broj jedan daje odličan omjer između prvog i drugog roga, a broj dva govori kako se zvuk već može bolje razviti i „napuniti“ dvoranu zvukom.



Slika 23 - Graf broja glasova za kategoriju „duo“, ovisno o četiri različito pozicioniranih mikrofona

Na pitanje „Gdje vam duo rogova zvuči najbolje, odnosno, kako biste vi voljeli slušati snimku?“, sudionici su glasali najviše za poziciju mikrofona broj dva. Potom su glasali za poziciju broj četiri, a pozicija jedan im se uopće nije svidjela. Slušatelji bi ipak voljeli slušati rogove kada su mikrofoni pozicionirani dalje od samog izvora zvuka instrumenta. Ispravnih ili krivih odgovora nema, a obzirom na to da je publika uvijek u pravu, glazbenici bi joj se trebali maksimalno prilagoditi.

## 6.4. Izračun prosječne jačine zvuka mikrofona kod dua

Kao i na početku rada, izmjeren je *RMS* na svakom od četiriju mikrofona postavljenih oko izvođača.

Tablica 8 - Prikaz rezultata glasnoće na pojedinačnom mikrofону kod dua – svira prvi hornist (lijevi izvođač); odsviran ton u srednjem registru

<b>Duo; dva hornista sjede; svira prvi hornist; oko njih se nalaze četiri različito pozicionirana mikrofona</b>				
	Glasnoća na 1. mikrofону (dB)	Glasnoća na 2. mikrofону (dB)	Glasnoća na 3. mikrofону (dB)	Glasnoća na 4. mikrofону (dB)
Srednji registar	-26,97	-32,69	-23,82	-25,68

Tablica 9 - Prikaz rezultata glasnoće na pojedinačnom mikrofону kod dua; svira drugi hornist (desni izvođač); odsviran ton u srednjem registru

<b>Duo, dva hornista sjede, svira drugi hornist, oko njih se nalaze četiri različito pozicionirana mikrofona</b>				
	Glasnoća na 1. mikrofону (dB)	Glasnoća na 2. mikrofону (dB)	Glasnoća na 3. mikrofону (dB)	Glasnoća na 4. mikrofону (dB)
Srednji registar	-25,71	-26,32	-28,71	-29,13

Tablice broj 7 i 9 prikazuju *RMS* vrijednosti, gdje je 0 dB maksimalna vrijednost glasnoće. U oba slučaja, prvi i drugi izvođač svirali su ton u srednjem registru na 246 Hz. Možemo primijetiti kolike vrijednosti pojedini mikrofoni bilježi za prvog i drugog izvođača. Mikrofoni broj jedan bilježi približno jednak intenzitet signala od obojice izvođača, što je korisno za buduće snimanje kada sviraju oba hornista zajedno. Uravnoteženje intenziteta između prvog i drugog izvođača ovdje je najbolji.

Na drugom mikrofону snima se jači signal od drugog izvođača, što je očekivano jer je mikrofoni broj dva bliži drugom izvođaču nego prvom. Na trećem mikrofону zabilježena je veća glasnoća od strane prvog izvođača. Ovo je također logično jer, ako se pažljivo pogleda postavka, vidi se da se zvono prvog izvođača uvijek nalazi bliže i direktnije usmjeren prema mikrofону na poziciji broj tri. Sličan uzorak događa se i kod četvrtog mikrofona. Zračna linija od četvrtog mikrofona do zvona prvog izvođača je kraća od zračne linije do zvona drugog izvođača. To se odražava u izmjerenim vrijednostima za četvrti mikrofoni, gdje intenzitet signala prvog izvođača premašuje intenziteta signala drugog izvođača.



Iz ove tablice se može zaključiti da pozicija mikrofona broj jedan pruža najbolji omjer glasnoće između obojice izvođača. Međutim, u praksi, nakon provedene ankete, utvrđeno je da to nije jedan od najvažnijih faktora. Sudionici ankete bili su glazbeni studenti i magistri glazbe. Anketu je također ispunio hrvatski glazbeni producent, koji nije aktivno sudjelovao u anketi, već je slušao snimke kod kuće na profesionalnoj opremi. Po pitanju dueta, producent je izjavio da mu snimka broj jedan zvuči najbolje, što bi moglo biti povezano s mjerenjima i zaključkom o najboljoj uravnoteženosti prvog i drugog izvođača.

## Zaključak

Izrada diplomskog rada bila je zanimljiva, te se došlo do intrigantnih zaključaka. Projekcija zvuka, odnosno širenje zvuka u dvorani, predstavlja ključan faktor za profesionalne glazbenike, osobito kada se radi o velikim koncertnim dvoranama. Zaključeno je da projekcija zvuka ovisi o različitim čimbenicima, uključujući instrument, svirača, poziciju sviranja, masu instrumenta, materijal instrumenta, poziciju ruke u zvonu i mnoge druge. Na glazbenicima i izvođačima je odgovornost maksimalno optimizirati sve ove faktore kako bi postigli najbolje rezultate.

Važnu ulogu ima i postava mikrofona, osobito kod solista, komorne glazbe ili orkestralnih izvedbi. Solistima je preporučljivo postaviti mikrofona bliže izvoru zvuka roga, a ne odmah uz izvođača. Kod orkestralnih izvedbi, možda bi bilo bolje postaviti ih nešto dalje. Međutim, važno je biti oprezan jer niti jedan ekstrem nije idealan. Eksperimentom su se snimala samo dva roga koji su oponašali izvedbu u orkestru, ali eksperiment je proveden bez stvarnog orkestra. Kada su oko nas i drugi glazbenici, suočavamo se s izazovom da mikrofona ne snimi samo zvuk roga, već i ostale instrumente u blizini. U orkestru bi bilo preporučljivo staviti mikrofona ispred i u sredini između dva rogista, i negdje na visini prsnog koša. S tom pozicijom postiže se najbolji zvučni balans između dva rogista. Pošto je takva pozicija mikrofona relativno blizu rogista također se smanjuje mogućnost hvatanja zvukova ostalih instrumenata.

U konačnici se može zaključiti da su preferencije publike, vrsta glazbe koja se izvodi i uloga roga u kompoziciji ključni faktori koji će utjecati na odabir optimalne postavke mikrofona. Ovaj rad pruža okvirne zaključke o tome kako različiti faktori utječu na projekciju zvuka roga u dvorani i gdje bi bilo najbolje postaviti mikrofona za snimanje i ozvučivanje roga kao solo instrumenta ili roga kao dio orkestra. Ovaj rad bi mogao poslužiti kao temelj za daljnja istraživanja u području audio inženjeringa na temu roga kao glazbenog instrumenta.

## Bibliografija

Domitrović, H., Jambrošić, K., & Petošić, A. (2015). *Prijenos zvuka* (Prvo izd.). Zagreb: Element d.o.o.

Dugan st., F. (2014). *Glazbena akustika*. Zagreb: Kiklos - Krug knjige d.o.o.

Everest, F. A. (1989). *The master handbook of acoustics* (Drugo izd.). Tab books.

Grupa autora. (2017). *Glazba - velika ilustrirana enciklopedija*. Mozaik knjiga.

Jelaković, T. (1978). *Zvuk, sluh, arhitektonska akustika* (Drugo izd.). Zagreb: Školska knjiga.

Odak, K. (1997). *Poznavanje glazbenih instrumenata*. Zagreb: Školska knjiga.

## Popis slika

Slika 1 - Krivulje jednake razine glasnoće (izofone) između praga čujnosti i praga bola.....	4
Slika 2 - Prikaz opadanja intenziteta zvuka ovisno o udaljenosti od izvora, intenzitet zvuka pada sa kvadratom udaljenosti .....	5
Slika 3 - Dvorana Bersa, mikrofoni za mjerenje referentne vrijednosti zvuka te tri mikrofona pozicionirana dijagonalno na području dvorane .....	6
Slika 4 - Pozicija svirača tijekom snimanja na pozornici u Koncertnoj dvorani Blagoje Bersa	7
Slika 5 - Udaljenost svirača od zida iznosila je 150 cm .....	7
Slika 6 - Graf glasnoće ovisno o frekvenciji (prikazano za 4 mikrofona); ton dubokog registra .....	16
Slika 7 - Uvećani graf glasnoće ovisno o frekvenciji; ton dubokog registra .....	17
Slika 8 - Graf glasnoće ovisno o frekvenciji (prikazano za 4 mikrofona); ton srednjeg registra .....	18
Slika 9 - Uvećani graf glasnoće ovisno o frekvenciji; ton srednjeg registra .....	19
Slika 10 - Graf glasnoće ovisno o frekvenciji (prikazano za 4 mikrofona); ton visokog registra .....	20
Slika 11 - Uvećani graf glasnoće ovisno o frekvenciji; ton visokog registra .....	21
Slika 12 - Graf harmonijskog spektra dubokog tona na referentnom mikrofoni .....	22
Slika 13 - Graf harmonijskog spektra dubokog tona na prvom mikrofoni .....	23
Slika 14 - Graf harmonijskog spektra dubokog tona na drugom mikrofoni .....	24
Slika 15 - Graf harmonijskog spektra na trećem mikrofoni.....	25
Slika 16 - Prikaz šest različito pozicioniranih mikrofona za snimanje solo roga .....	26
Slika 17 - Prikaz četiri različito pozicioniranih mikrofona za snimanje dua .....	27
Slika 18 - Prikaz pozicioniranja šest mikrofona oko izvođača tijekom snimanja .....	29
Slika 19 - Graf broja glasova za kategoriju „solo rog“, ovisno o šest različito pozicioniranih mikrofona.....	29
Slika 20 - Graf broja glasova za kategoriju „solo rog“, ovisno o šest različito pozicioniranih mikrofona.....	30
Slika 21 - Prikaz pozicija mikrofona označenih od 1 do 4 .....	31

Slika 22 - Graf broja glasova za kategoriju „duo“, ovisno o četiri različito pozicioniranih mikrofona.....	31
Slika 23 - Graf broja glasova za kategoriju „duo“, ovisno o četiri različito pozicioniranih mikrofona.....	32

## Popis tablica

Tablica 1 - Rezultati prvog mjerenja u kojem je korišten rog proizvođača Cornford .....	8
Tablica 2 - Rezultati drugog mjerenja u kojem je korišten rog proizvođača Corndford s Alexander zvonom .....	10
Tablica 3 - Rezultati trećeg mjerenja u kojem je korišten rog proizvođača Alexander.....	11
Tablica 4 - Rezultati četvrtog mjerenja u kojem je korišten rog proizvođača Yamaha.....	12
Tablica 5 - Rezultati petog mjerenja u kojem je korišten rog proizvođača Cornford, drugi izvođač .....	13
Tablica 6 - Rezultati šestog mjerenja u kojem je korišten rog proizvođača Cornford i kojem je smanjena masa .....	14
Tablica 7 - Rezultati sedmog mjerenja u kojem je korišten rog proizvođača Cornford, s različitim pozicijama ruke u zvonu.....	15
Tablica 8 - Prikaz rezultata glasnoće na pojedinačnom mikrofону kod dua – svira prvi hornist (lijevi izvođač); odsviran ton u srednjem registru .....	33
Tablica 9 - Prikaz rezultata glasnoće na pojedinačnom mikrofону kod dua; svira drugi hornist (desni izvođač); odsviran ton u srednjem registru .....	33