

# »DRŽAVNO SREČANJE MLADIH RAZISKOVALCEV«

## ZVOČNO VALOVANJE

Raziskovalno področje: TEHNIKA ALI TEHNOLOGIJA

Raziskovalna naloga

Avtor: AMADEJ ŠARDI

Mentor: JERNEJ FEGUŠ

Šola: SREDNJA ELEKTRO-RAČUNALNIŠKA ŠOLA MARIBOR

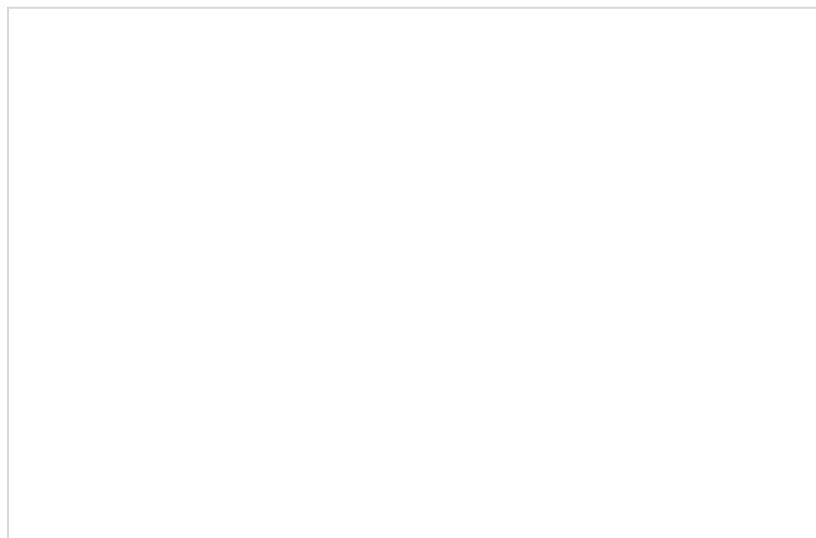
**Maribor, 2020**

**»Mladi za napredek Maribora 2020«**

**37. srečanje**

**ZVOČNO VALOVANJE**

Raziskovalna naloga



**Maribor, 2020**

## KAZALO

<b>POVZETEK</b> .....	4
<b>ZAHVALA</b> .....	4
<b>1. UVOD</b> .....	4
1.1 Družbena odgovornost.....	9
<b>2. METODOLOGIJA DELA</b> .....	9
2.1 Primerjava frekvenc .....	10
2.2 Primerjava lastnosti barv zvoka .....	11
<b>3. REZULTATI</b> .....	12
3.1 Primerjava frekvenc .....	12
3.2 Primerjava lastnosti barv zvoka .....	12
<b>4. RAZPRAVA, INTERPRETACIJA REZULTATOV</b> .....	17
4.1 Primerjava frekvenc .....	17
4.2 Primerjava lastnosti barv zvoka .....	17
4.2.1 Trdota.....	17
4.2.2 Globina .....	17
4.2.3 Svetlost .....	17
4.2.4 Grobost .....	17
4.2.5 Toplina .....	18
4.2.6 Ostrina.....	18
4.2.7 Hrup .....	18
4.2.8 Odmev .....	18
4.3 Možne izboljšave .....	18
<b>5. ZAKLJUČEK / SKLEPI</b> .....	19
<b>6. SEZNAM VIROV IN LITERATURE</b> .....	20
6.1 Spletni viri.....	20
6.2 Viri slik .....	20

## KAZALO SLIK

Slika 1: harmonična vsebina (vir: <a href="http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Sound/timbre.html#c2">http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Sound/timbre.html#c2</a> ).....	7
Slika 2: višanje in nižanje zvoka strune (vir: <a href="https://www.wikilectures.eu/w/Sound_timbre">https://www.wikilectures.eu/w/Sound_timbre</a> ).....	7
Slika 3: vizualna slika tremola in vibrata (vir: <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Amplitude_modulation">https://en.wikipedia.org/wiki/Amplitude_modulation</a> )....	9
Slika 4: izris visokega zvoka, ki ga proizvede struna Medium (avtorska slika).....	13
Slika 5: izris nizkega zvoka, ki ga proizvede struna Medium (avtorska slika).....	13
Slika 6: izris lastnosti trdota za različne debeline strun za nizki E (avtorska slika).....	14
Slika 7: izris lastnosti globina za različne debeline strun za nizki E (avtorska slika).....	14
Slika 8: izris lastnosti svetlost za različne debeline strun za nizki E (avtorska slika).....	15
Slika 9: izris lastnosti grobost za različne debeline strun za nizki E (avtorska slika).....	15
Slika 10: izris lastnosti toplina za različne debeline strun za nizki E (avtorska slika).....	16
Slika 11: izris lastnosti ostrina za različne debeline strun za nizki E (avtorska slika).....	16
Slika 12: izris lastnosti hrup za različne debeline strun za nizki E (avtorska slika).....	17
Slika 13: izris lastnosti hrup za različne debeline strun za nizki E (avtorska slika).....	17

## **POVZETEK**

V raziskovalni nalogi sem raziskoval kako različna debelina strun na akustični kitari vpliva na zvočno valovanje v nekem prostoru in če različna debelina strun vpliva na barvo samega zvoka. Eksperiment sem opravil s pomočjo mikrofona, povezanega v računalnik, pred katerim sem se s vsako debelino strun, ki sem jih imel, postavil, nanje zaigral in njihov zvok pričel neposredno snemati v programu Adobe Audition. Nato sem s pomočjo programa, ki sem ga napisal v programskem jeziku Python primerjal in analiziral grafe lastnosti barv zvoka. Potrjena je bila moja prva (različna debelina strun vpliva na zvočno valovanje v nekem prostoru), delno pa tudi druga (različna debelina strun vpliva na barvo samega zvoka, ampak ne na vse lastnosti, ki definirajo barvo zvoka) hipoteza.

## **ZAHVALA**

Najprej bi se iskreno rad zahvalil mentorju, ki mi je vso pot skozi izdelavo te raziskovalne naloge pomagal, odgovoril na (pre)več vprašanj ter nenazadnje tudi privolil v mentorstvo te naloge. Zahvala gre tudi družini, ki me je ob vseh meritvah, ki sem jih opravljal spodbujala in podpirala, da sem jih lahko opravljal nemoteno ter seveda šoli, ki mi je opremo za snemanje ter rekvizite, ki sem jih zanjo potreboval priskrbel.

## **1. UVOD**

Namen raziskovalne naloge je primerjava pridobljenih rezultatov s pomočjo preučevanja pisnih virov s pridobljenimi rezultati s pomočjo eksperimentalnega dela. Hipoteza, ki jo želim s to raziskovalno nalogo preveriti, je, da različna debelina strun na akustični kitari vpliva na zvočno valovanje v nekem prostoru in da različna debelina strun vpliva na barvo samega zvoka.

Barva zvoka nam omogoča, da lahko kljub enako visokim tonom ločimo različne inštrumente (K. Yasuda and H. Hama, 2006, str. 3). S to raziskovalno nalogo želim preveriti, ali različna debelina strun vpliva na barvo zvoka pri enakem inštrumentu (v tem primeru, akustični kitari).

Dosedanje raziskave za barvo zvoka na kitari (oziroma drugih glasbil, ki sodijo v skupino brenkal) so pokazale, da znajo biti karakterne lastnosti amplitude in frekvence pomembni dejavniki pri oblikovanju zvočnega signala in vplivajo predvsem na barvo zvoka glasbenega instrumenta.

Vendar tudi če je amplituda osnovne frekvence polovična te vrednosti barva zvoka ostaja nespremenjena. Raziskave na to tematiko se vse bolj nagibajo k misli, da je vrednost amplitude stalna in da je osnovna frekvenca zvoka tista, ki ima največji vpliv na njegovo barvo. Tu so še v igri harmonične frekvence ampak glede na raziskave na tem področju je influencia na barvo zelo majhna, saj so prav takšne tudi njene amplitude. Tako torej sklepamo, da je barva zvoka odvisna od osnovne in harmonične amplitude pod nekimi omejitvami.

Dosedanje raziskave kažejo, da ljudje lahko ločimo med različnimi instrumenti s poslušanjem zvoka, ki ga instrument proizvaja, ampak je ločevanje instrumentov na podlagi zvoka težka naloga za računalnike. Barvo zvoka lahko definiramo kot značilnost, ki nam pomaga, da ločimo zvoke z enako frekvenco, glasnostjo in dolžino (K. Yasuda and H. Hama, 2006, str. 3).

Če hočemo priti do odgovora na vprašanje »Kaj/kakšna je barva zvoka strun na kitari?« se moramo najprej vprašati, kaj sploh zvok je oziroma kako ga definiramo. V definiciji, ki se nahaja v slovarju slovenskega knjižnega jezika je zvok v fizikalnem pomenu “*longitudinalno valovanje, ki je s frekvencami od 16 do približno 20.000 nihajev na sekundo zaznavno s sluhom*”. Poenostavljeno rečeno je zvok valovanje, ki ga zaznamo s sluhom. Proizvedemo ga s tako imenovanimi zvočili (to so različni predmeti, ki zvok oddajajo). Oddajo zvoka dosežejo s tresenjem oziroma vibracijami (glasilke, struna na kitari, ...). Zvočila, ki vibrirajo ali se tresejo hitreje, oddajajo višje zvoke napram zvočilom, ki se tresejo počasneje. Število teh tresljajev imenujemo frekvenca zvoka.

Osnovni gradniki zvoka so višina, barva, trajanje in glasnost. Višino tona izražamo s frekvenco, ki predstavlja število nihajev v eni sekundi. Kot mersko enoto za frekvenco uporabljamo oznako Hertz (Hz). 440 Hz pomeni 440 nihanj v eni sekundi (Mihelič, 2015, str. 8).

Pri barvi tona se stvari nekoliko zakomplicirajo, saj je bolj kot ne subjektivnega tipa. Vsak posameznik lahko barvo tona opiše nekoliko drugače s pridevniki, kot so na primer topel, svetel, oster, čist, okrogel in podobni. V preteklosti je kar nekaj znanstvenikov poskušalo najti povezavo med barvami in toni (kar v teoriji niti ni tako nemogoče, saj je tako barv v vidnem spektru (rdeča, oranžna, rumena, zelena, modra, indigo, vijoličasta) kot osnovnih tonov (C, D, E, F, G, A, H)

sedem). Ugotovili so, da je frekvenca tona obratno sorazmerna valovni dolžini (svetlobe), zato pri pretvorbi tona v barvo delimo hitrost svetlobe z valovno dolžino barve in tako dobimo frekvenco (Mihelič, 2015, str. 9, 10).

Kot vemo, zvok lahko zveni kratko ali dolgo. V glasbi so ta trajanja urejena s pomočjo ritmičnih vrednosti (četrtnina, polovinka, celinka), ki so urejene v nekem časovnem zaporedju (kar imenujemo ritem). Slednji lahko ima različen tempo (živahen, umirjen), beseda kot taka pa pomeni nekaj, kar teče in ima neprekinjen tok (Mihelič, 2015, str. 11, 12).

Glasnost zvoka merimo v decibelih. Če je glasnost previsoka in moteča govorimo o hrupu. Zvok, ki ga izmerimo v za to namenjenem programu ima določeno amplitudo. Višja kot je amplituda, glasnejši je zvok (pravimo, da sta sorazmerna) (Mihelič, 2015, str. 11, 12).

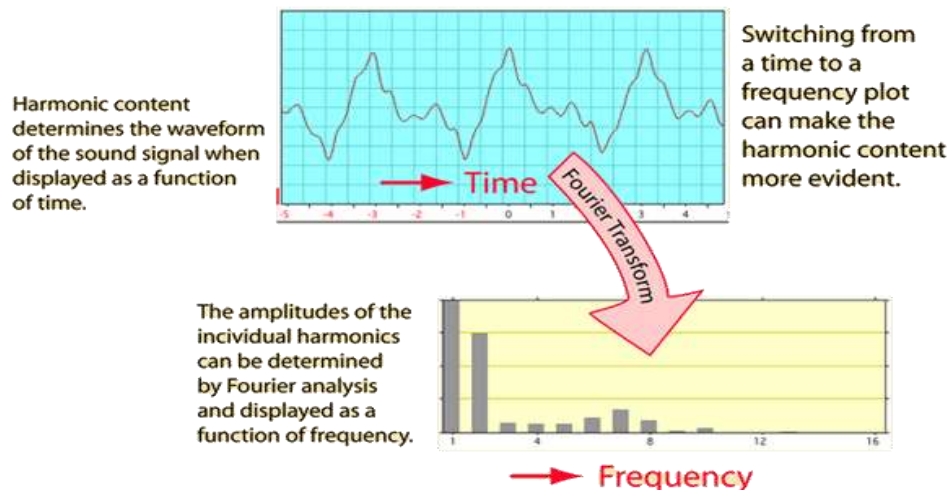
Barva oziroma kvaliteta zvoka opiše karakteristične lastnosti višine zvoka in njegove glasnosti, kar omogoča človeškemu ušesu razlikovati različne zvoke, ki imajo enako višino in glasnost. Torej barva zvoka ne opisuje glasnosti, višine tonov in njegovega trajanja, ampak vse ostalo. Na primer, enaka nota zaigrana na kitari (E) se zvočno razlikuje od note E zaigrane na flavti. To pomeni, da imata zvok kitare in flavte različno barvo (kvaliteto) zvoka. Na enak način deluje človeški govor; če posameznika spregovorita enak samoglasnik (na primer »a«) v enakem tonu in glasnosti lahko kljub temu, da sta bili karakteristiki glasnosti in višina tona enaki, razlikujemo kdo je kdo (seveda morata biti osebi, ki ju dobro poznamo). Vsako zvočno valovanje predstavlja karakteristično obliko, katera je odvisna od materiala, ki ustvari ta zvok. To definira barvo zvoka. Karakteristiki, ki opisujeta barvo zvoka sta naslednji:

- harmonična vsebina in
- dinamične karakteristike (»ovojnica zvoka«).

Ti karakteristiki sestavlja mnogo zvočnih lastnosti. Harmonična vsebina postane pomembna pri "sustained"<sup>1</sup> tonih. Pove nam število in relativno intenziteto višjih harmonij, ki so prisotne v zvoku. V sliki 1 je prikazano, kako harmonična vsebina definira valovno obliko (dolžino) zvočnega signala prikazanega kot funkcija časa. Preklop pogleda funkcije časa v funkcijo frekvence omogoča, da je harmonična vsebina bolj očitna. Amplitude posameznih harmonij so lahko določene s pomočjo "Fourier" analize (prikazana na sliki 1) in prikazane kot funkcija frekvence.

---

<sup>1</sup> toni, kateri po tem, ko jih zaigramo, ohranijo zvok za določen čas, ne pa tudi glasnosti



Slika 1: harmonična vsebina (vir: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Sound/timbre.html#c2>)

Dinamična karakteristika oziroma ovojnica zvoka vsebuje višanje in nižanje zvoka ter vibrato oziroma tremolo zvoka.

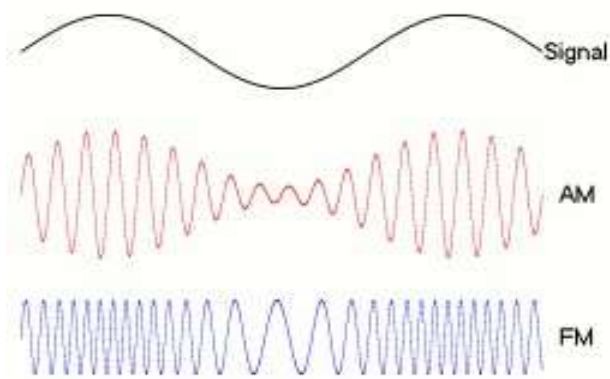


Slika 2: višanje in nižanje zvoka strune (vir: [https://www.wikilectures.eu/w/Sound\\_timbre](https://www.wikilectures.eu/w/Sound_timbre))

Slika 2 prikazuje višanje (ang. attack) in nižanje (ang. decay) zaigrane strune na eni kitarski (akustični) struni. Tu lahko vidimo, da nekaj časa zvok narašča (sekcija 1) čemur pravimo “attack” zaigrane strune. Ko zvok doseže svoj vrh amplitude, se prične zvok postopoma tišati (sekcija 2), čemur pravimo “decay” zaigrane strune. Navadno je dolg in postopen. Človeško uho je občutljivo na ti dve karakterni lastnosti in na njuni podlagi lahko ugotovimo, kateri inštrument proizvaja zvok, katerega slišimo.

Definicija vibrato efekta je periodično spreminjanje višine tona, termin tremolo pa je uporabljen, da indicira periodično spreminjanje amplitude oziroma glasnosti tona (višja kot je amplituda na sliki zvočnega valovanja, vse glasnejši je ton). Torej vibrato bi lahko poimenovali FM (angl. Frequency Modulation ali frekvenčna modulacija – postopek spreminjanja frekvenca signala v ritmu informacije (slika 3)), tremolo pa AM (angl. Amplitude Modulation ali amplitudna modulacija – način prenašanja informacij s spreminjanjem glasnosti oziroma amplitude pri enaki frekvenci (slika 3) (radijski prenos zvoka)).





Slika 3: vizualna slika tremola in vibrata (vir: [https://en.wikipedia.org/wiki/Amplitude\\_modulation](https://en.wikipedia.org/wiki/Amplitude_modulation))

Največji izziv v tej raziskovalni nalogi je bil, kako meriti zvočni signal in njegove lastnosti. Pri raziskovanju sem se srečal z Audio Common iniciativo<sup>2</sup>, ki je financirana s strani Evropske unije. Raziskovalci so znotraj iniciative med ostalim definirali osem različnih lastnosti, za katere menijo, da skupaj definirajo barvo zvoka. Analizo enakih lastnosti so omogočili tudi ostalim tako, da so ustvarjeni program za analizo zvoka opredelili kot odprtokodni sistem (kar pomeni, da ga lahko brezplačno uporabljamo ostali). Osem lastnosti, ki definirajo barvo zvoka v njihovem programu so (Audio Common, 2019, str. 8-20):

- Trdota (angl. hardness), ki definira predvideno trdoto zvoka. Vrednost je definirana od 0 do 100, kjer višja številka predstavlja trši zvok.
- Globina (angl. depth), ki definira predvideno globino zvoka. Vrednost je definirana od 0 do 100, kjer višja številka predstavlja globlji zvok.
- Svetlost (angl. brightness), ki definira predvideno svetlost zvoka. Vrednost je definirana od 0 do 100, kjer višja številka predstavlja svetlejši zvok.
- Grobost (angl. roughness), ki definira predvideno grobost zvoka. Vrednost je definirana od 0 do 100, kjer višja številka predstavlja bolj grob zvok.
- Toplina (angl. warmth), ki definira predvideno toplino zvoka. Vrednost je definirana od 0 do 100, kjer višja številka predstavlja bolj topel zvok.
- Ostrina (angl. sharpness), ki definira predvideno ostrino zvoka. Vrednost je definirana od 0 do 100, kjer višja številka predstavlja bolj oster zvok.
- Hrup (angl. booming), ki definira predviden hrup zvoka. Vrednost je definirana od 0 do 100, kjer višja številka predstavlja bolj hrupen zvok.

<sup>2</sup> Audio Commons iniciativa je financirana s strani Evropske unije v programu Horizon 2020. Audio Commons iniciativa se osredotoča na raziskovanja na področju glasbe.

- Odmev (angl. reverb), ki definira predviden odmev zvoka. Vrednost je definirana kot 0 ali 1. Nič pomeni, da pri zvoku ni zaznati odmeva. Vrednost ena pa pomeni, da pri zvoku je možno zaznati odmev.

Za pridobitev rezultatov sem si pomagal z različnimi knjižnicami v programskem jeziku Python.

Knjižnice, ki sem jih uporabil so sledeče:

1. timbral\_models
2. matplotlib
3. wavfile

### **1.1 Družbena odgovornost**

Ta seminarska naloga se navezuje na načelo družbene odgovornosti transparentnost oz. preglednost podatkov na tak način, da sem javno objavil uporabljene zvočne posnetke pridobljene s to nalogo. Na tak način se lahko tudi preveri konsistentnost in resničnost pridobljenih rezultatov. Zvočni zapisi so objavljeni na platformi reesound.org in se nahajajo na povezavi: <https://freesound.org/people/jarxx0xx/>

## **2. METODOLOGIJA DELA**

Raziskovanja sem se lotil tako, da sem na začetku proučeval pisne vire z enakega oz. podobnega področja. Pri raziskovanju sem zraven teoretičnega znanja dobil tudi idejo, kako oz. na kakšen način bi lahko pridobljene posnetke zvokov analiziral za potrebo te raziskovalne naloge. Po proučevanju pisnih virov sem začel z eksperimentom.

Eksperiment je potekal tako, da sem na kitaro namestil nove strune. Po namestitvi strun sem kitaro uglasil. Prvo struno na ton E (na 329.63 Hz), drugo struno na ton H (246.94 Hz), tretjo struno na ton G (196.00 Hz), četrto struno na ton D (146.83 Hz), peto struno na ton A (110.00 Hz) in šesto struno na ton E (82.41 Hz). Po uglasitvi kitare sem se s kitaro prestavil na točno določeno pozicijo v sobi, da bi zagotovil konsistentno razdaljo med mikrofonom in kitaro za vsako ponovitev eksperimenta. Vsako struno na kitari sem s pomočjo trzalice odigral brez da bi pritisnil na katerokoli prečko na vratu kitare. Zvok sem posnel s pomočjo mikrofona ECM8000 (proizvajalec Behringer) in Adobe Audition programa. V programu sem najprej posnel zvok, ki se je neprestano gibal v sobi, v kateri sem eksperiment opravljal in tako dobil beli šum (angl. white noise) sobe, ki je določal koliko odstopanja se bo pojavilo v meritvah. Za vsako debelino strun sem celoten postopek ponovil.

V eksperimentu sem uporabil pet različno debelih strun enakega proizvajalca (D'Addario):

- .009 - .045 - proizvajalčevo ime: Super light
- .010 - .050 - proizvajalčevo ime: Extra Light
- .011 - .052 - proizvajalčevo ime: Light 11<sup>3</sup>
- .012 - .053 - proizvajalčevo ime: Light 12<sup>4</sup>
- .013 - .056 - proizvajalčevo ime: Medium
- .014 - .059 - proizvajalčevo ime: Heavy

Po vseh opravljenih meritvah sem zvočnim posnetkom s pomočjo programa (Adobe Audition), odstranil šum. Zvoke sem tudi obrezal na enako dolžino (dve sekundi) in nato s pomočjo programa Python za vsak posnetek izračunal in izrisal osem lastnosti barve zvoka. Hkrati sem si tudi izrisal pridobljene posnetke, da bi lahko primerjal valovanje zvoka med posnetki.

Vse posnetke sem smiselno poimenoval, da sem jih lahko tudi po eksperimentu z lahkoto ločil med seboj. Posnetki različnih debelin strun za enak ton in enako frekvenco so si namreč med seboj zelo podobni. Posnetke strune E (uglašene na 329.63 Hz oziroma ton e) sem poimenoval po proizvajalčevem imenu strun in besedi high (slo: visoko). Posnetke strune E (uglašene na 82.41 Hz oziroma ton E) sem poimenoval po proizvajalčevem imenu strun in besedi deep (slo: globoko). Tako sem dobil dvanajst različnih posnetkov.

## 2.1 Primerjava frekvenc

Najprej sem s pomočjo Pythona prebral zvočni posnetek, ki sem ga izvozil iz programa Adobe Audition. Izvleček uporabljene programske kode za branje zvočne datoteke je sledeč:

```
from scipy.io import wavfile sampling_rate, data =  
wavfile.read("sounds/medium_deep.wav")
```

Zatem sem izrisal globok in visok zvok, ki ga proizvedeta struni Medium. Izvleček programske koda, ki izriše prebrano zvočno datoteko za globok zvok strune Medium:

---

<sup>3</sup> Zaradi lažjega ločevanja med različnimi strunami sem proizvajalčevemu imenu Light dodal število 11

<sup>4</sup> Zaradi lažjega ločevanja med različnimi strunami sem proizvajalčevemu imenu Light dodal število 12

```
import matplotlib.pyplot as plt
plt.figure(figsize=(20,10))
plt.plot(data) plt.xlabel('Čas')
plt.ylabel('Amplituda')
plt.savefig("amplituda_medium_deep") plt.close()
```

S tem sem lahko preveril, če ima kakšen del moje metodologija napako. Namreč že na podlagi uglašenosti kitare mora imeti višji ton veliko bolj pogoste frekvence kot nižji ton.

## **2.2 Primerjava lastnosti barv zvoka**

V nadaljevanju sem uporabil knjižnico Audio Commons, da sem prebral različne lastnosti barve zvoka. Izvleček programske kode, ki prebere barvne lastnosti posnetka za globok zvok strune Medium:

```
import timbral_models timbral_models.timbral_extractor("sounds/medium_deep.wav",
verbose=False)
```

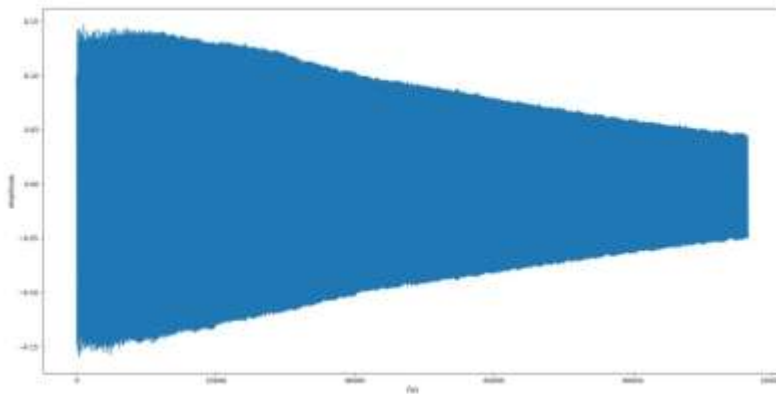
Po prebranih lastnostih zvoka sem lastnosti izrisal na enak način kot sem izrisal zvočni posnetek. Pridobljene rezultate sem nato primerjal in analiziral.

### 3. REZULTATI

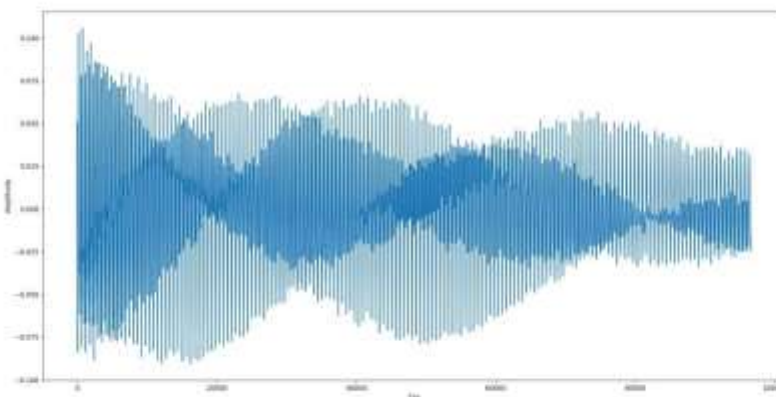
Rezultati so sestavljeni iz izrisov zvočnih posnetkov in izrisov vrednosti različnih lastnosti barve zvoka, kot jih definira Audio Commons iniciativa.

#### 3.1 Primerjava frekvenc

Najprej sem izrisal globok in visok zvok, ki ga proizvedeta struni Medium. Graf ima na x osi (horizontalno) čas in na y osi (vertikalno) amplitudo.



Slika 4: izris visokega zvoka, ki ga proizvede struna Medium (avtorska slika)

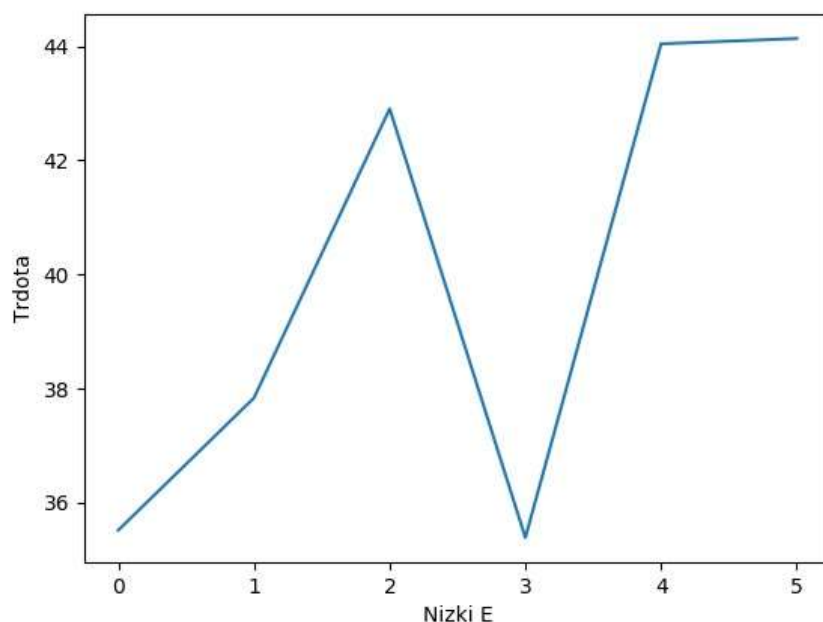


Slika 5: izris nizkega zvoka, ki ga proizvede struna Medium (avtorska slika)

#### 3.2 Primerjava lastnosti barv zvoka

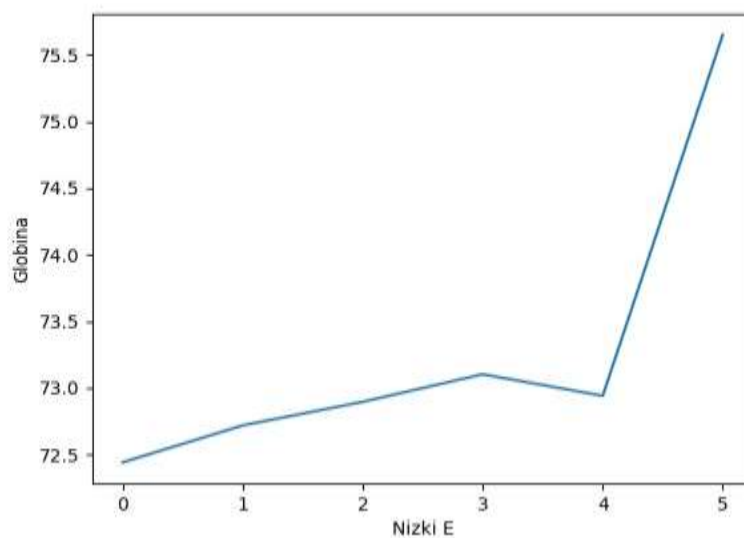
Nadaljnji rezultati se nanašajo na izrise lastnosti barve zvoka.

Slika 6 prikazuje trdoto zvoka, ki ga proizvedejo različne strune. Graf ima na x osi (horizontalno) strune in na y osi (vertikalno) vrednost lastnosti. Strune si sledijo od najtanjše do najdebelejše.



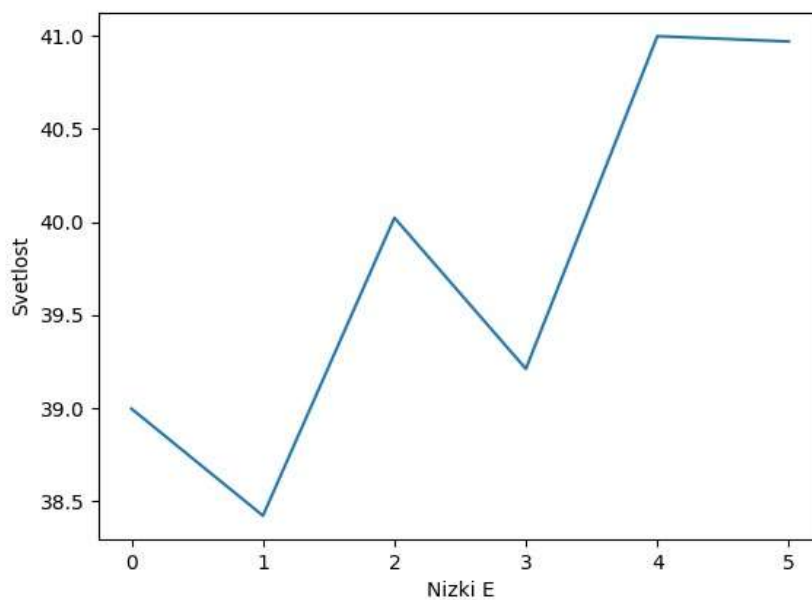
Slika 6: izris lastnosti trdota za različne debeline strun za nizki E

Slika 7 prikazuje globino zvoka, ki ga proizvedejo različne strune. Graf ima na x osi (horizontalno) strune in na y osi (vertikalno) vrednost lastnosti. Strune si sledijo od najtanjše do najdebelejše.



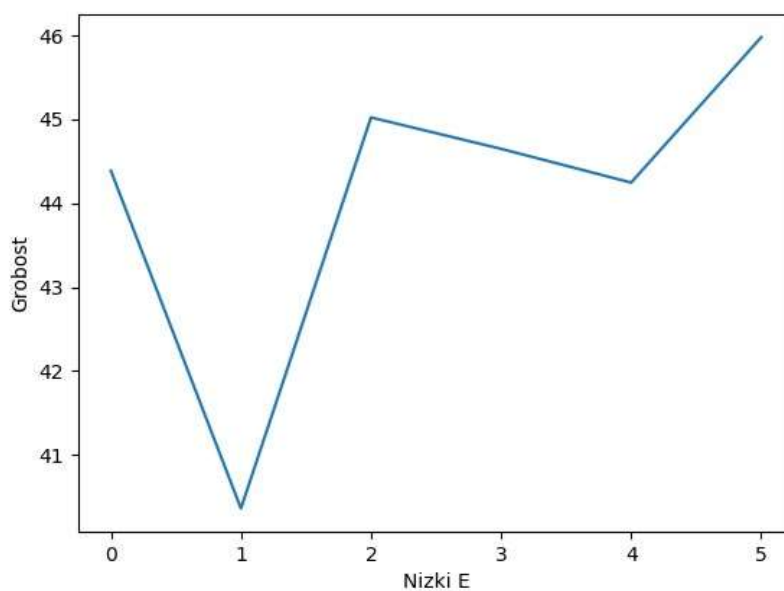
Slika 7: izris lastnosti globina za različne debeline strun za nizki E

Slika 8 prikazuje svetlost zvoka, ki ga proizvedejo različne strune. Graf ima na x osi (horizontalno) strune in na y osi (vertikalno) vrednost lastnosti. Strune si sledijo od najtanjše do najdebelejše.



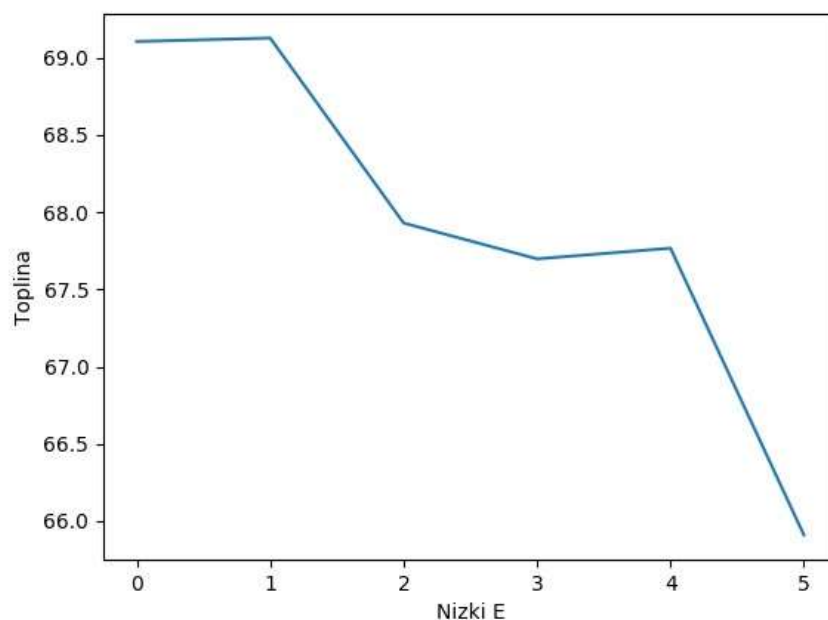
Slika 8: izris lastnosti svetlost za različne debeline strun za nizki E

Slika 9 prikazuje grobost zvoka, ki ga proizvedejo različne strune. Graf ima na x osi (horizontalno) strune in na y osi (vertikalno) vrednost lastnosti. Strune si sledijo od najtanjše do najdebelejše.



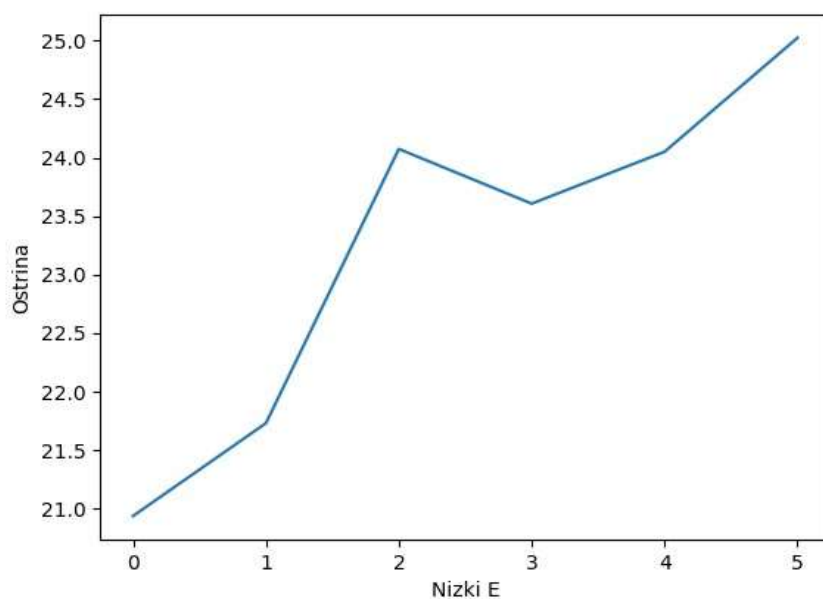
Slika 9: izris lastnosti grobost za različne debeline strun za nizki E

Slika 10 prikazuje toplino zvoka, ki ga proizvedejo različne strune. Graf ima na x osi (horizontalno) strune in na y osi (vertikalno) vrednost lastnosti. Strune si sledijo od najtanjše do najdebelejše.



Slika 10: izris lastnosti toplina za različne debeline strun za nizki E

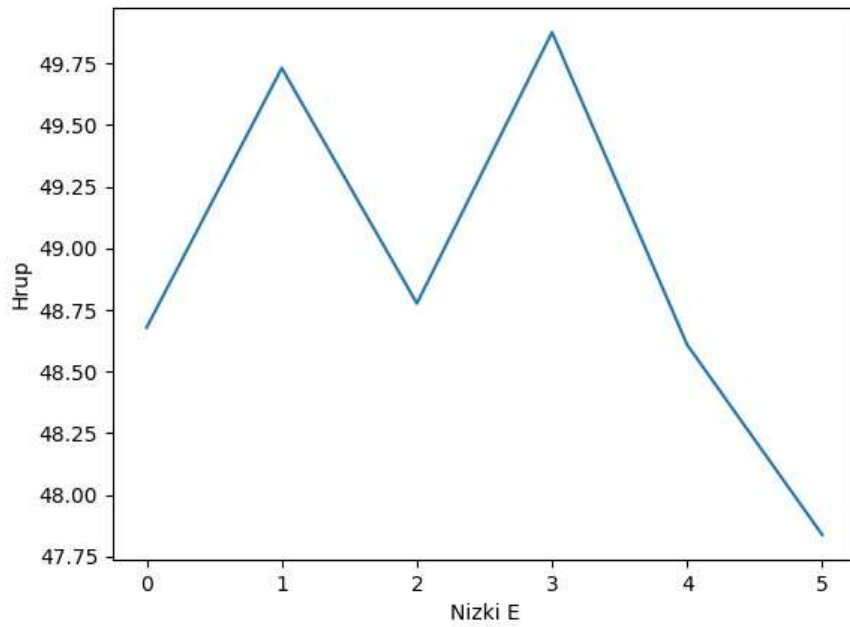
Slika 11 prikazuje ostrino zvoka, ki ga proizvedejo različne strune. Graf ima na x osi (horizontalno) strune in na y osi (vertikalno) vrednost lastnosti. Strune si sledijo od najtanjše do najdebelejše.



Slika 11: izris lastnosti ostrina za različne debeline strun za nizki E

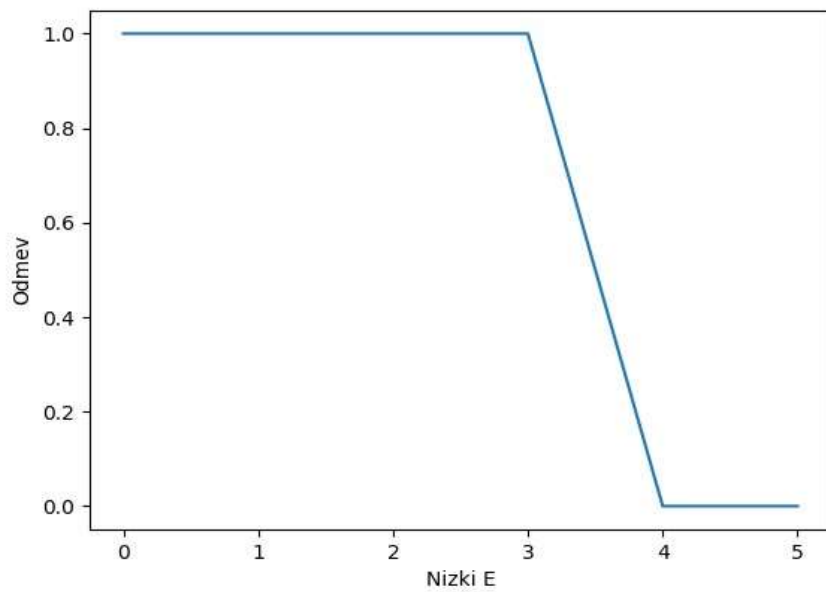
Slika 12 prikazuje hrup zvoka, ki ga proizvedejo različne strune. Graf ima na x osi (horizontalno) strune in na y osi (vertikalno) vrednost lastnosti. Strune si sledijo od najtanjše do najdebelejše.





Slika 12: izris lastnosti hrup za različne debeline strun za nizki E

Slika 13 prikazuje odmev zvoka, ki ga proizvedejo različne strune. Graf ima na x osi (horizontalno) strune in na y osi (vertikalno) vrednost lastnosti. Strune si sledijo od najtanjše do najdebelejše.



Slika 13: izris lastnosti hrup za različne debeline strun za nizki E

## **4. RAZPRAVA, INTERPRETACIJA REZULTATOV**

### **4.1 Primerjava frekvenc**

Glede na uglasenost kitare lahko sklepamo, da bo struna, ki proizvaja višji zvok in je uglasena na 329.63 Hz, imela veliko bolj nasičen graf, saj so frekvence bolj skupaj v enakem časovnem obdobju. To lahko vidimo iz slike 4 in slike 5.

### **4.2 Primerjava lastnosti barv zvoka**

#### **4.2.1 Trdota**

Vrednost je definirana od 0 do 100, kjer višja številka predstavlja trši zvok. Iz slike 6 lahko vidimo, da je razlika med najnižjo in najvišjo vrednostjo trdote 10. Vrednost načeloma narašča, razen pri struni 3, kjer vrednost strune 3 pade na enako vrednost, kot jo ima struna 1. Na podlagi teh rezultatov ne morem trditi, da lahko opazimo vzorec spremembe trdote pri različno debelih strunah.

#### **4.2.2 Globina**

Vrednost je definirana od 0 do 100, kjer višja številka predstavlja globlji zvok. Iz slike 7 lahko vidimo, da je razlika med najnižjo in najvišjo vrednostjo trdote 3. Vrednost načeloma z debelino strun narašča. Na podlagi teh rezultatov lahko trdim, da lahko opazimo vzorec spremembe globine pri različno debelih strunah.

#### **4.2.3 Svetlost**

Vrednost je definirana od 0 do 100, kjer višja številka predstavlja svetlejši zvok. Iz slike 8 opazimo, da je razlika med najnižjo in najvišjo vrednostjo svetlosti 2.5. Vrednost tudi tukaj z debelino strun načeloma narašča, kjer vrednost strune 3 za malenkost (0.8) pade. Na podlagi teh rezultatov lahko trdim, da je vzorec spremembe svetlosti pri strunah različnih debelin opažen.

#### **4.2.4 Grobost**

Vrednost je definirana od 0 do 100, kjer višja številka predstavlja bolj grob zvok. Iz slike 9 lahko vidimo, da je razlika med najnižjo in najvišjo vrednostjo grobosti strun 5. Vrednost načeloma z debelino strun narašča, le pri drugi struni lahko opazimo, da je vrednost grobosti pri drugi struni

drastično padla (za 4). Na podlagi teh rezultatov ne morem trditi, da lahko opazimo vzorec spremembe grobosti pri različno debelih strunah.

#### **4.2.5 Toplina**

Vrednost je definirana od 0 do 100, kjer višja številka predstavlja bolj topel zvok. Iz slike 10 lahko vidimo, da je razlika med najnižjo in najvišjo vrednostjo topline 3. Tukaj vrednost z debelino strun pada. Na podlagi teh rezultatov lahko trdim, da lahko opazimo vzorec spremembe topline pri različno debelih strunah.

#### **4.2.6 Ostrina**

Vrednost je definirana od 0 do 100, kjer višja številka predstavlja bolj oster zvok. Iz slike 11 lahko vidimo, da je razlika med najnižjo in najvišjo vrednostjo ostrine 4. Na grafu vrednost z debelino strun narašča. Na podlagi teh rezultatov lahko trdim, da je moč opaziti vzorec spremembe ostrine pri različno debelih strunah.

#### **4.2.7 Hrup**

Vrednost je definirana od 0 do 100, kjer višja številka predstavlja bolj hrupen zvok. Iz slike 12 lahko vidimo, da je razlika med najnižjo in najvišjo vrednostjo hrupa 1. Tukaj vrednost z debelino strun načeloma pada, razen pri prvi in četrti struni. Na podlagi teh rezultatov ne morem trditi, da je opažen vzorec spremembe hrupa pri različno debelih strunah.

#### **4.2.8 Odmev**

Vrednost je definirana kot 0 ali 1. Nič pomeni, da pri zvoku ni zaznati odmeva. Vrednost ena pa pomeni, da pri zvoku je možno zaznati odmev. Iz slike 13 lahko opazimo, da je razlika med najnižjo in najvišjo vrednostjo odmeva 1. Vrednost tudi tukaj z debelino strun pada. Na podlagi teh rezultatov lahko trdim, da je vzorec spremembe odmeva pri strunah različnih debelin opažen.

### **4.3 Možne izboljšave**

Glede na majhno količino opravljenih testov in uporabe strun samo enega proizvajalca so rezultati dokaj omejeni. Lahko bi dobil boljše rezultate s pomočjo primerjave drugih tonov na kitari in uporabe strun drugih proizvajalcev. Nenazadnje bi lahko dobil boljše (oziroma predvsem natančnejše) rezultate z uporabo (dosti dražjega) profesionalnega mikrofona.

## 5. ZAKLJUČEK / SKLEPI

Glede na pridobljene rezultate in njihovo analizo lahko potrdim prvo zastavljeno hipotezo. Gledano s stališča rezultatov lahko jasno vidimo, da različna debelina strun vpliva na zvočno valovanje v nekem prostoru.

Glede na pridobljene rezultate lahko delno potrdim drugo hipotezo. Lahko vidimo, da različna debelina strun vpliva na barvo samega zvoka, ampak ne na vse lastnosti, ki definirajo barvo zvoka.

V izdelovanju raziskovalne naloge sem se veliko naučil o sami teoriji zvoka in njegovi barvi, kako se spreminja in kaj sploh pomeni. Dala mi je širšo sliko o tem, kako se zvok širi in deluje, ob tem pa mi je omogočala, da sem vse eksperimente, ki sem jo zanjo potreboval, uspel vključiti še v programsko kodo, katero sem ustvaril. Celoten potek izdelovanja naloge je bil zanimiv ampak obenem tudi utrujajoč, saj sem se nekajkrat znašel pred ovirami, ki so se sprva zdele nerešljive, a so se potem izkazale za lažje kot bi pričakoval.

## 6. SEZNAM VIROV IN LITERATURE

- Andy Pearce, Saeid Safavi, Tim Brookes, Russell Mason, Wenwu Wang, and Mark Plumbley, "Release of timbral characterisation tools for semantically annotating nonmusical content" <https://www.audiocommons.org/materials/>, 2019.

### 6.1 Spletni viri

- Amplitudna modulacija [https://en.wikipedia.org/wiki/Amplitude\\_modulation](https://en.wikipedia.org/wiki/Amplitude_modulation) (10.1. 2020)
- Akustična barva zvoka [https://cecm.indiana.edu/etext/acoustics/chapter1\\_timbre.shtml](https://cecm.indiana.edu/etext/acoustics/chapter1_timbre.shtml) (21.1. 2020)
- Barva zvoka [https://dijaski.net/gradivo/gla\\_ref\\_barva\\_zvoka\\_01](https://dijaski.net/gradivo/gla_ref_barva_zvoka_01) (4.1. 2020)
- Barva zvoka <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Sound/timbre.html#c2> (11.1. 2020)
- Barva zvoka <https://www.simplifyingtheory.com/timbre/> (19.1. 2020)
- Barva zvoka [https://www.wikilectures.eu/w/Sound\\_timbre](https://www.wikilectures.eu/w/Sound_timbre) (28.1. 2020)
- Frekvenčna modulacija [https://en.wikipedia.org/wiki/Frequency\\_modulation](https://en.wikipedia.org/wiki/Frequency_modulation) (10.1. 2020)
- Ovojnica zvoka <https://www.britannica.com/science/envelope-sound> (14.1. 2020)
- Pomembnost barve zvoka <https://www.izotope.com/en/learn/what-is-timbre-and-why-is-it-important.html> (8.1. 2020)
- Ton <https://eucbeniki.sio.si/gls/3247/index.html> (8.1. 2020)

### 6.2 Viri slik

Slika 1. Harmonična vsebina. Dostopna na URL naslovu: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Sound/imgsou/harcon.gif> [Citirano: 28.1.2020]

Slika 2. Višanje in nižanje zvoka strune. Dostopna na URL naslovu: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/sound/imgsou/guitat.gif> [Citirano: 17.1.2020]

Slika 3. Vizualna slika tremola in vibrata. Dostopna na URL naslovu: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a4/Amfm3-en-de.gif/250px-Amfm3en-de.gif> [Citirano: 17.1.2020]

Slika 4. Izris visokega zvoka, ki ga proizvede struna Medium (avtorska slika)

Slika 5. Izris nizkega zvoka, ki ga proizvede struna Medium (avtorska slika)

Slika 6. Izris lastnosti trdota za različne debeline strun za nizki E (avtorska slika)

Slika 7. Izris lastnosti globina za različne debeline strun za nizki E (avtorska slika)

Slika 8. Izris lastnosti svetlost za različne debeline strun za nizki E (avtorska slika)

Slika 9. Izris lastnosti grobost za različne debeline strun za nizki E (avtorska slika)

Slika 10. Izris lastnosti toplina za različne debeline strun za nizki E (avtorska slika)

Slika 11. Izris lastnosti ostrina za različne debeline strun za nizki E (avtorska slika)

Slika 12. Izris lastnosti hrup za različne debeline strun za nizki E (avtorska slika)

Slika 13. Izris lastnosti hrup za različne debeline strun za nizki E (avtorska slika)