

Analiza zvuka računalnim programom Audacity - primjena na pokuse prikladne za srednjoškolsku nastavu

Krstulić, Marja

Master's thesis / Diplomski rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:791433>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-22**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
FIZIČKI ODSJEK

SMJER: Profesor fizike i tehnike

Marja Krstulić

Diplomski rad

**Analiza zvuka računalnim programom
Audacity - primjena na pokuse prikladne
za srednjoškolsku nastavu**

Voditelj diplomskog rada: doc.dr.sc. Željko Skoko

Ocjena diplomskog rada: _____

Povjerenstvo: 1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

Datum polaganja: _____

Zagreb, 2015.

Zahvala:

Posebno želim zahvaliti mentoru doc.dr.sc. Željku Skoki na velikoj pomoći i stručnim savjetima prilikom pisanja ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem svojoj obitelji, prijateljima i kolegama na iznimnoj potpori tijekom svih godina školovanja!

Zahvaljujem se učenicima 8.b razreda, OŠ „Vladimir Nazor“ Duga Resa, koji su pomogli u izvođenju pokusa potrebnog za realizaciju ovog diplomskog rada.

Hvala Vam svima!

Sažetak

Audacity je besplatni računalni program za snimanje i obradu audio signala putem zvučne kartice. Jedna od mogućnosti njegove primjene je u nastavi fizike na različitim razinama. U ovom diplomskom radu detaljno su opisane glavne mogućnosti ovog programa s idejom kako bi se zvuk, pomoću raznih pokusa obrađenim na programu Audacity, mogao bolje i detaljnije objasniti učenicima srednjih i osnovnih škola.

Pokusi koji su obrađeni u okviru diplomskog su:

- 1.) Određivanje razine zvuka raznih situacija u razredu
- 2.) Mjerenje brzine zvuka
- 3.) Udari
- 4.) Rezonancija
- 5.) Dopplerov efekt

Osnovna prednost leži u tome što za izvođenje pokusa nije nužna skupa eksperimentalna oprema, nego je najbitnije računalo opremljeno zvučnom karticom te instaliranim programom Audacity i mikrofonom, što postoji u svakoj školi. S obradom gradiva zvuka pomoću pokusa obrađenim u Audacityju mogla bi se podići razina zainteresiranosti učenika za fiziku uopće, što je i cilj ovog diplomskog rada.

Sound analysis by the software Audacity – use in secondary school experiments

Abstract

Audacity is a free computer software, recorder and audio editor. One of the possibilities of its use is in the physics education on many different levels. In this thesis there will thoroughly be described main features of this program and how could sound, using various experiments processed on the program Audacity, be explained better to the students of secondary and primary schools.

The experiments that will be processed are:

- 1.) Determination of the sound level of various situations in the classroom
- 2.) Measuring speed of the sound
- 3.) Beats
- 4.) Resonance
- 5.) Doppler effect

The main advantage in the performances of these experiments is that it doesn't need expensive experimental equipment, but the most important is to have a computer equipped with a sound card and installed program Audacity and the microphone, which every school own. With processing the materials of the sound using experiments processed in Audacity could raise the level of interest of students in physics in general, which is the goal of this thesis.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Ukratko o zvuku.....	3
3. Snimanje zvuka na računalo	6
3.1. Analogno snimanje zvuka	6
3.2. Digitalno snimanje zvuka.....	7
3.3. Digitaliziranje audio uzorka na računalu	8
3.4. Vrste audio datoteka na računalu	8
4. Audacity	9
4.1. Kratka povijest Audacityja.....	10
5. Postavke, unos zvuka i reprodukcija	11
5.1. Kreiranje novog projekta	11
5.2. Postavke kvalitete zvuka	12
5.2.1. Kakvoća uzorka.....	12
5.2.2. Format uzorka	12
5.3. Uvoz novih zapisa	13
5.3.1. Vrste audio zapisa	14
5.4. Reproduciranje	16
6. Snimanje zvuka.....	17
7. Osnove obrade zvuka	18
7.1. Izreži, Kopiraj, Zalijepi.....	20
7.2. Premještanje	21
7.3. Kopiranje.....	22
7.4. Tišina	22
7.5. Udvostruči.....	24
7.6. Dodavanje učinaka	25
7.7. Izvoženje zvučnog zapisa (eng. Export).....	27
8. Pokusi	29
8.1. Pokus 1 : Određivanje razine zvuka raznih situacija u razredu.....	29
8.1.1. Jakost i razina zvuka	29
8.1.2. Pokus	31
8.2. Pokus 2 : Brzina zvuka u zraku	36

8.3. Pokus 3 : Udari	41
8.4. Pokus 4 : Rezonancija.....	46
8.5. Pokus 5 : Dopplerov efekt.....	48
9. Zaključak	54
10. Literatura	55
11. Popis slika.....	56
12. Popis tablica.....	58

1.Uvod

Tijekom svog studija na drugoj godini fakulteta na kolegiju *Računalo u pokusu* naišla sam na jedan vrlo zanimljiv program Audacity. Na tom kolegiju računalo smo koristili kao glavni alat za analizu raznih pokusa iz fizike koristeći razne programe. Od malena sam pokazivala interes prema glazbi, a u skladu s time je, kako u srednjoj školi tako i na fakultetu, rastao i moj interes prema zvuku i fizikalnim aspektima zvuka. Zato mi je otkriće navedenog programa, osim što je koristilo za dublje razumijevanje te grane fizike, bilo iznimno zanimljivo.

Audacity je program za snimanje i obradu zvuka. To je besplatan program otvorenog koda (*eng. open source*). Open source ili otvoreni kod je softver koji je dostupan javnosti na korištenje, uvid, izmjene i daljnje raspačavanje. Odnosi se na bilo kakvu informaciju, pisanu ili audiovizualnu, koja je slobodno dostupna javnosti. To znači da svaka osoba može imati besplatan pristup ovom programu u njegovom korištenju i upotrebi njegovog sadržaja te u nadogradnji i programiranju njegovog softvera.

Program koristim u svom privatnom životu, uglavnom u zabavne svrhe, od druge godine studija. Međutim mogućnosti ovog programa su mnogobrojne i one bi se mogle iskoristiti u edukacijske svrhe. Nadovezujući se na kolegij *Računalo u pokusu* nastala je ideja da program iskoristim za detaljnije i dublje razumijevanje zvuka i zvučnih valova učenika osnovnih i srednjih škola u nastavi fizike.

Zvuk je gradivo pod cjelinom *Valovi* koje učenici prvi put susreću u osmom razredu osnovne škole. Mehanički valovi koje se šire nekim medijem vidljivim oku (npr. gumena cijev, opruga, voda) su učenicima lako shvatljivi i susretali su se s pojmom širenja takvog vala u svakidašnjem životu. Međutim zvučni valovi su učenicima teže shvatljivi jer dotad nisu ni poznavali zvuk kao val. Zvučni valovi šire se pomoću sitnih čestica zraka ili nekog drugog medija. Pri širenju zvuka "titra" gustoća zraka, a to je učenicima često teško vizualizirati. Zbog toga učenici imaju poteškoća sa razumijevanjem zvuka.

Zvuk je najsvakodnevniya pojava koja se poučava u fizici. Tradicionalnim načinom poučavanja gradiva zvuka ne postižu se željeni ciljevi razumijevanja istog. S pravilnom obradom gradiva zvuka podiže se razina zainteresiranosti učenika za fiziku uopće. Svaki dio gradiva fizike učenicima je lakše razumljiv ako se predstavi pokusima. U ovom

diplomskom radu htjela bih pokazati kako bi se zvuk, raznim pokusima obrađenim na programu Audacity, mogao bolje i detaljnije objasniti učenicima osnovnih i srednjih škola. Svi pokusi mogu se koristiti u srednjim školama, a neki od njih mogu se provoditi i u osnovnim školama.

2. Ukratko o zvuku

Zvuk je longitudinalni mehanički val koji se može rasprostirati u čvrstim tijelima, tekućinama i plinovima. To znači da je za rasprostiranje zvuka potreban neki medij. Mehaničke valove koje registrira ljudsko uho nazivamo zvuk u užem smislu. To su longitudinalni valovi frekvencije od 20 Hz do 20 000 Hz. Zvukovi frekvencije ispod i iznad ovih frekvencija čovjek ne čuje. Najjednostavniji zvučni valovi su sinusoidalni valovi koji su određeni frekvencijom f , amplitudom i valnom duljinom λ . Zvučni valovi obično se šire u svim smjerovima, od izvora zvuka, određenom brzinom v . To je kvocijent puta koji prijeđe određena faza vala, npr. brijeg, i za to potrebnog vremena. Ta se brzina često zove i fazna brzina jer se njome širi određena faza vala. Budući da za vrijeme jednog titraja T val prijeđe jednu valnu duljinu, slijedi da je:

$$\lambda = v \cdot T$$

T je period titranja izvora vala za koji vrijedi :

$$T = \frac{1}{f}$$

Ako umjesto T u izraz za valnu duljinu uvrstimo $\frac{1}{f}$, dobit ćemo sljedeći izraz:

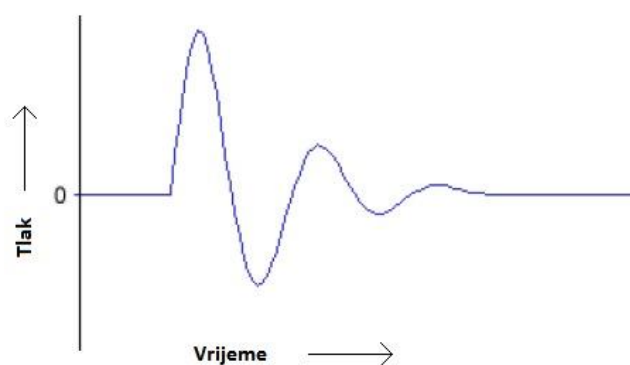
$$\lambda = \frac{v}{f}$$

U ovom radu proučavat ćemo zvuk koji se rasprostire zrakom. Pri širenju zvuka zrakom titra "gustoća" zraka, odnosno duž medija mijenja se tlak. To je periodična promjena tlaka koja se širi elastičnim medijem, tj. čvrstim tijelima, tekućinama i plinovima određenom brzinom. Nastaje titranjem čestica oko ravnotežnog položaja. Niz pobuđenih čestica prenošenjem energije stvara zvučni val. Može se reći da su zvukovi u zraku zapravo valovi tlaka zraka (eng. *pressure waves*). Bez zraka ne bi se mogli čuti zvukovi.

Mi čujemo zvukove jer su naše uši osjetljive na promjenu tlaka u zraku. Ti valovi tlaka zraka mogu zatitrati bubnjić u našem uhu i tako proizvesti osjećaj zvuka. Za lakše razumijevanje, kako promjena tlaka zraka utječe na naše uho, uzet ćemo jedan od najlakših primjera zvučnog vala, a to je kratak, iznenadni događaj kao pljesak. Kada zapljesnemo rukama, zrak koji je bio između naših ruku je gurnut u stranu. To povećava tlak zraka u prostoru u blizini ruku, jer je više molekula zraka privremeno sažeto u manji prostor. Visoki tlak gura molekule zraka prema van u svim smjerovima brzinom zvuka, što je

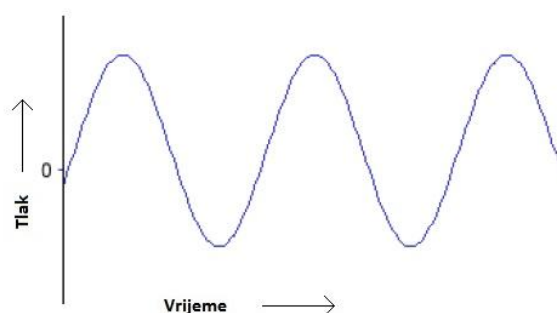
otprilike 340 metara u sekundi. Kada val tlaka zraka dođe do uha, on gurne membranu bubnjića, što uzrokuje da se čuje pljesak.

Pljesak rukama je kratak događaj koji uzrokuje jedan val tlaka zraka koji brzo izumire. Slika 1 prikazuje valni oblik za tipični ručni pljesak. Apscisa predstavlja vrijeme, a ordinata predstavlja tlak. Nakon početnog visokog tlaka, slijedi niski tlak te oscilacija brzo izumire.



Slika 1. Jedan val koji brzo izumire: pljesak rukama

Drugi najčešći oblik zvučnog vala je periodični val. Za primjer periodičnog zvučnog vala uzet ćemo zvonjenje crkvenog zvona. Kada crkveno zvono zvoni, zvuk dolazi od vibracije zvona. Dok god zvono zvoni ono vibrira na određenoj frekvenciji, ovisno o veličini i obliku zvona, a to uzrokuje vibraciju zraka u blizini zvona istom frekvencijom. To uzrokuje vibraciju valova tlaka zraka izvan zvona, opet brzinom zvuka u zraku. Na slici 2 prikazani su valovi tlaka zraka uzrokovani kontinuiranom vibracijom.



Slika 2. Periodični val: zvonjenje crkvenog zvona

Brzina širenja zvuka v je brzina kojom se titranje čestica širi kroz neku tvar, a ovisi o fizikalnim svojstvima tog medija. Ta svojstva su: gustoća, temperatura, vlaga, atmosferski tlak i dr. Izraz za brzinu zvuka je:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

gdje je $R=8,314 \text{ J/mol K}$ (plinska konstanta), T apsolutna temperatura (u kelvinima), a M molna masa plina (kg/mol). Ovisnost brzine širenja zvuka o temperaturi vidi se na tablici 1.

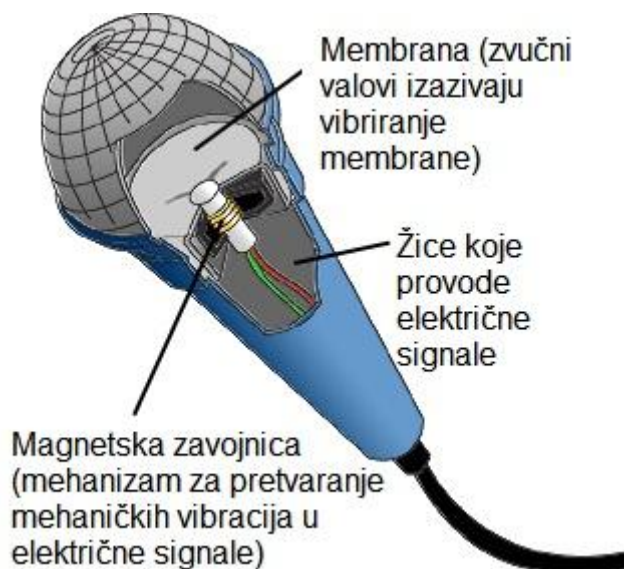
$v / \frac{m}{s}$	$t / ^\circ\text{C}$
325.2	-10
328.3	-5
331.3	0
334.3	+5
337.3	+10
340.3	+15
343.2	+20
346.1	+25
349.0	+30

Tablica 1. Tablica ovisnosti brzine širenja zvuka o temperaturi

3. Snimanje zvuka na računalo

3.1. Analogno snimanje zvuka

Mikrofon se sastoji od male membrane koja može slobodno vibrirati zajedno s mehanizmom koji kretanje membrane pretvara u električne signale. Ovisno o vrsti mikrofona postoji i mnogo vrsta takvih mehanizma. Dakle mikrofon pretvara zvučne valove u električne valove. Veći tlak odgovara visokom naponu i obrnuto. Zatim magnetofon prevodi električne signale sa žice u magnetske signale na traku. Analogno snimanje pohranjuje audio informacije u obliku kontinuiranog signala.



Slika 3. Osnovni dijelovi mikrofona

Kada se traka reproducira, proces se obavlja obrnuto. Magnetski signal pretvara se u električni signal, a električni signal uzrokuje da membrana zvučnika vibrira, obično pomoću elektromagneta.

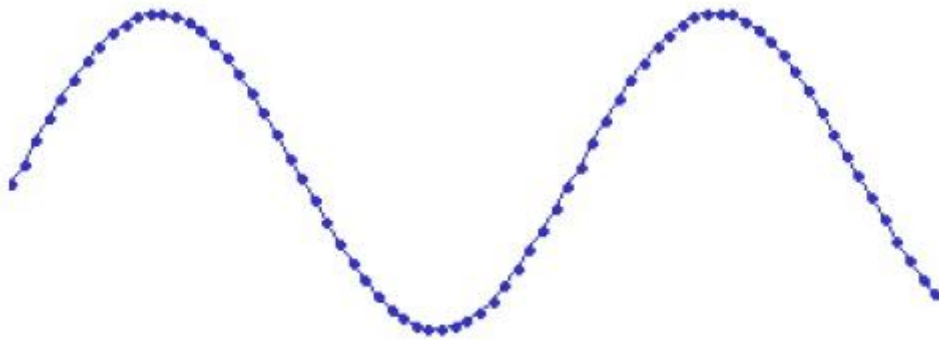
Vrste analognog zapisa:

- Gramofonska ploča (vinil)
- Magnetna traka
- Kompaktna kazeta
- Optički zapis
- Ostalo: fonograf, AM/FM radio

3.2. Digitalno snimanje zvuka

Snimanje na traku je primjer analognog snimanja. Audacity se bavi digitalnim snimkama. Digitalni sustav za snimanje zvuk zapisuje i obrađuje u vidu niza diskretnih vrijednosti od kojih svaka predstavlja vrijednost zvučnog tlaka u promatranom vremenu. Tako zapisani zvuk čini snimku koja ima zapisane diskretne vrijednosti i takva snimka koristi se na digitalnom računalu. Digitalni zapis ima mnogo prednosti nad analognim zapisom. Digitalni zapis može se kopirati neograničeno bez gubitka kvalitete. Može se snimiti na kompaktni disk (CD) ili dijeliti putem Interneta. Digitalni zapis može se uređivati puno lakše nego analogni. Ne postoje modulacijski efekti. Kolebanja ploče su nemjerljivo mala. Fazna kolebanja između različitih kanala ne postoje. Vrlo su mala nelinearna izobličenja. Medij nema utjecaj na digitalni signal. Zbog niske cijene opreme dostupna je prosječnom čovjeku.

Glavni uređaj koji se koristi u digitalnom snimanju zove se analogno-digitalni pretvarač (AD pretvarač). AD pretvarač zabilježava snimku električnog napona na audio liniju i to predstavlja kao digitalni broj koji se može poslati na računalo. Svaki uzorak analognog signala kvantizira se i predstavlja binarnim brojem. Snimanjem napona tisuću puta u sekundi, može se dobiti vrlo dobra aproksimacija originalnog audio signala. Svaka točka na slici 4 predstavlja jedan audio uzorak.



Slika 4. Val na kojem je svaka točka jedan audio uzorak

Reprodukcija digitalnih audio zvukova koristi digitalno-analogni pretvarač (DA pretvarač). On uzima uzorak audio zvuka i stavlja određeni napon na analogni izlaz kako bi ponovno stvorio signal, od kojeg je analogno-digitalni pretvarač izvorno stvorio uzorak. Prvi

kompaktni diskovi koji su reproducirali takve zvukove nisu zvučali dobro. Zato DA pretvarač nekoliko puta uzima isti uzorak i obrađuje ga kako bi što bolje izgadio audio signal. Kvaliteta filtera u DA pretvaraču također pridonosi kvaliteti izvornog analognog signala.

3.3. Digitaliziranje audio uzorka na računalu

Svako moderno računalo ima zvučnu karticu. Ona može biti zasebna kartica, kao npr. SoundBlaster, ili može biti ugrađena u računalo. Svaka zvučna kartica sadrži analogno-digitalni pretvarač za snimanje i digitalno-analogni pretvarač za reproduciranje audio zvuka. Operativni sustav računala (Windows, Mac OS X, Linux, itd.) "priča" zvučnoj kartici kako da rukuje i reproducira snimku. Audacity "priča" operacijskom sustavu kako pohraniti zvukove u datoteku, uređivati ih, miješati s drugim zvukovima, itd.

3.4. Vrste audio datoteka na računalu

Postoje dvije glavne vrste audio datoteka na računalu:

PCM (Pulse Code Modulation)

Ovo je tehnika opisana u tekstu iznad. Ona svaki broj u digitalnoj audio datoteci predstavlja točno kao jedan uzorak u valnom obliku. Uobičajeni primjeri PCM datoteka su: WAV, AIFF datoteke i Sound Designer II datoteka. Audacity podržava WAV, AIFF i mnoge druge PCM datoteke.

Drugi tip su komprimirane datoteke. Moderne komprimirane audio datoteke koriste sofisticirane psihoakustične algoritme koji predstavljaju bitne frekvencije audio signala u daleko manje prostora. Primjeri takvih datoteka su: MP3 (MPEG I, Layer 3), Ogg Vorbis i WMA (Windows Media Audio). Audacity podržava MP3 i OGG Vorbis, ali ne i WMA format ili MPEG4 format (AAC) koji koristi Apple iTunes.

4. Audacity

Audacity je besplatan program otvorenog koda. To je program za snimanje i obradu zvučnih zapisa. Razvijen je od strane grupe volontera i distribuiran od GNU General Public License (GPL). Besplatni softver daje slobodu svima da koriste program, uče kako on radi, čak i mogućnost za njegovo poboljšanje i dijeljenje s drugima.

Programi kao što je Audacity nazivaju se softveri otvorenog koda, jer je njihov izvorni kod dostupan svima koji ga žele proučavati i koristiti. Postoje tisuće drugih besplatnih programa otvorenog koda, uključujući Firefox web preglednik, LibreOffice ili OpenOffice Apache Office i čitavi operativni sustavi temeljeni na Linuxu, kao što je npr. Ubuntu. Dostupan je za operativne sustave Windows, Mac i Linux i druge. Može se preuzeti sa sljedeće web adrese:

<http://audacity.sourceforge.net/download>

Dodatna zanimljivost ovog programa je njegova prijenosna varijanta koja omogućava pokretanje direktno s USB memorije, a time i rad na svakom računalu s dostupnim USB uutorom bez ikakve instalacije ili potrebe za administratorskim pravima.

Sučelje je prevedeno na mnoge jezike. Audacity svoju veliku popularnost ne gradi samo na činjenici da je besplatan, već prvenstveno na svojoj jednostavnosti i velikom broju mogućnosti koje nudi, a one uključuju:

- Uređivanje raznih formata zvuka: WAV, AIFF, FLAC, MP2, MP3 ili Ogg Vorbis
- Uvoz i izvoženje WAV, MP3, Ogg Vorbis, AIFF, Flac i drugih audio formata
- Snimanje i reprodukcija zvučnog zapisa
- Obrada zvuka, Cut, Copy i Paste naredbe s neograničenim mogućnostima Undo-a
- Usporedni rad na više audio zapisa, njihovo spajanje ali i preklapanje
- Digitalni efekti i podrška za plug-inove
- Obrada zvuka promjenom amplitude zvučnog zapisa
- Mogućnost za uklanjanje buke i šumova koji su posljedica neadekvatne opreme ili prostora za snimanje
- Konvertiranje vrpce i snimke u digitalni zapise ili na CD

- Mnogo drugih efekata uključujući promjenu brzine zvučnog zapisa i slično

Program je koristan za sve ljude podjednako, može se koristiti za zabavu, edukaciju te u poslovne svrhe.

4.1. Kratka povijest Audacityja

Audacity su pokrenuli Dominic Mazzoni i Roger Dannenberg u jesen 1999. godine na Sveučilištu Carnegie Mellon. Program je prvotno bio izdan kao program otvorenog koda na internet stranici SourceForge.net u svibnju 2000. godine.

Verzija Audacity 1.0 bila je spremna do lipnja 2002. godine. Ova verzija skinuta je više od milijun puta i program je naširoko smatran korisnim i vrlo obećavajućim.

Nakon toga mnogo se ljudi uključilo i pomagalo u razvoju programa. U manje od godinu i pol dana kasnije, predstavljena je serija Audacity 1.2, koji sadrži sto puta više značajki, kompletnu podršku za profesionalnu kvalitetu 24-bitnog i 32-bitnog audio zvuka, kompletan priručnik i podršku za mnogo različitih jezika. Verzija Audacity 1.2.6 preuzeta je više od 40 milijuna puta.

Od tada, proizvedena je uspješna serija Beta 1.3 sa značajno poboljšanim značajkama koje su služile kao polazište za tekuću seriju Audacity 2.0.

Deseci ljudi doprinijeli su razvoju ovog programa tijekom godina i danas. Audacity je razvijen od strane tima volontera koji se nalaze u raznim zemljama. Audacity je distribuiran pod uvjetima Opće javne licence (General Public License(GPL)). Svatko je slobodan koristiti ovaj program za bilo koju osobnu, obrazovnu ili komercijalnu svrhu.

Trenutna verzija programa je Audacity 2.0.6. objavljena 29. rujna 2014. godine.

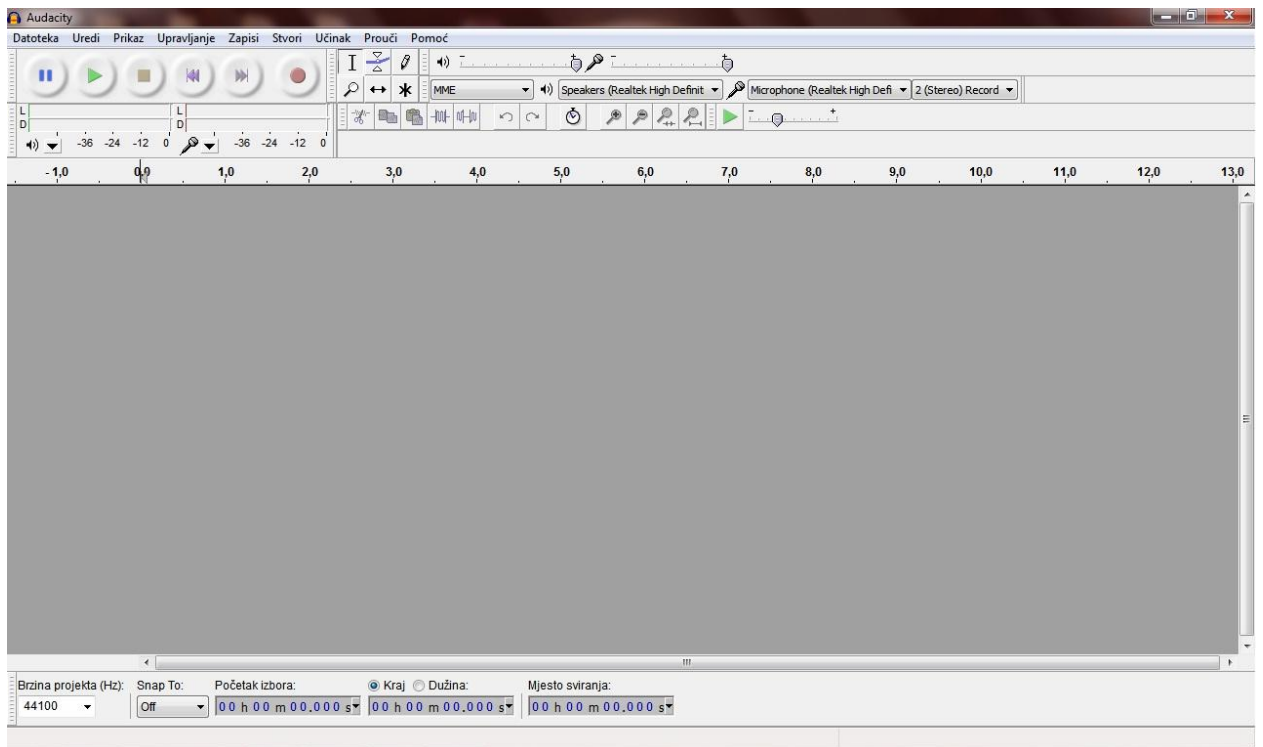


Slika 5. Simbol za Audacity

5. Postavke, unos zvuka i reprodukcija

5.1. Kreiranje novog projekta

Klikom na ikonu programa otvara se njegovo sučelje.



Slika 6. Sučelje Audacityja

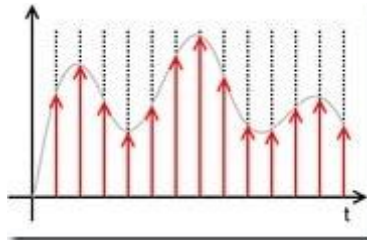
Program svaku obradu tretira kao projekt, koji se može sačuvati kao datoteka u internom formatu programa (Audacity Project, .aup). Zvučni zapisi se uvoze u projekt, a rezultat obrade se izvozi u neki od raspoloživih formata audio zapisa (.wav, .aif, .au, .mp3, .ogg, .mid). Treba odabrati naziv projekta i mjesto gdje će se pohraniti. Može se koristiti i prečac na tipkovnici: Ctrl + S. Za izvoz u MP3 format, treba prethodno instalirati priloženi programski dodatak (Lame MP3 Encoder).

5.2. Postavke kvalitete zvuka

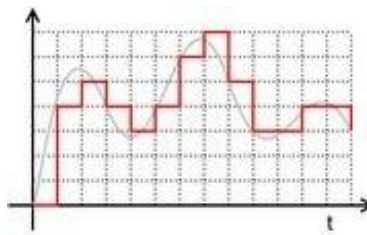
5.2.1. Kakvoća uzorka

Do postavka se može doći putem naredbe na izborniku *Uredi te Postavke* ili prečacom na tipkovnici Ctrl +P.

Na kakvoću uzorka utječe zadana uzorkovna brzina koja se naziva i brzina projekta, a određuje broj uzoraka u sekundi uzetih iz kontinuiranog signala, npr. pri snimanju na digitalni medij. Ova mogućnost nadzire kvalitetu uzorka novog projekta. Mjeri se u hercima (Hz). U postavkama treba namjestiti brzinu projektu na 44 100 Hz.



Slika 7. Kontinuirani signal

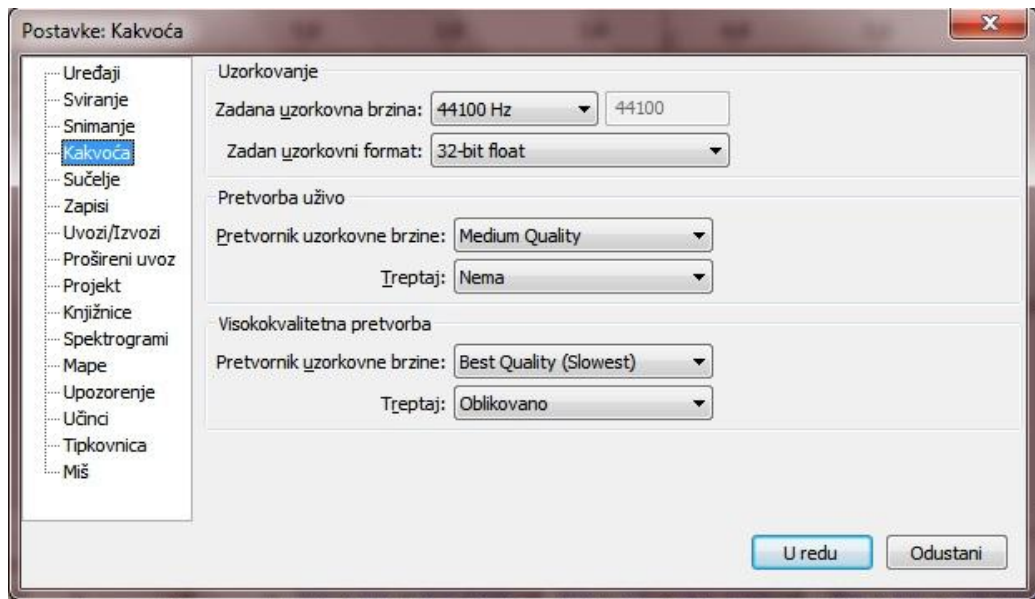


Slika 8. Uzorkovani signal

Da bi se promijenila kakvoća uzorka postojećeg projekta, upotrebljava se alatna traka *Izbor* u donjem lijevom kutu glavnog prozora projekta te alat *Brzina projekta*.

5.2.2. Format uzorka

Format uzorka nadzire format korišten za spremanje zvučnog zapisa. 16-bitni zapis zauzima najmanje mjesta i odgovara kvaliteti zvučnog kompaktnog diska. 32-bitni zapis zauzima dvostruko više mjesta, ali je puno kvalitetniji i prilagodljiviji pa se zbog toga uzorkovni format namješta na 32-bitni.



Slika 9. Postavke - Parametri kvalitete zvučnog zapisa

5.3. Uvoz novih zapisa

Postoje tri načina kako se može uvesti novi zapis.

- 1) Povuci ikonu od željene datoteke i ispustiti u prozor Audacityja. (Ako se koristi Mac OS 9 ili X, treba povuci datoteku na ikonu Audacityja umjesto u prozor)
- 2) Odabrati padajući izbornik *Datoteka te Otvori*.
- 3) Koristiti prečac na tipkovnici: Ctrl + O

Osnovni element Audacity projekta je traka (eng. *Track*). Traka je zvučni zapis koji je snimljen pomoću mikrofona ili uvezen (eng. *Import*) koristeći neku postojeću datoteku. Nakon što je datoteka uvezena Audacity će ju jednom pročitati i stvoriti grafički pregled u podatkovnom direktoriju. Potom će na disk zapisivati sve promjene audio podataka koje se mijenjaju s obradom tog zapisa. Izvorna datoteka koristi se samo za reprodukciju. Svaki dio zapisa koji ostaje nepromijenjen reproduciran je od izvorne datoteke. Korisno je napraviti kopiju originalnog zapisa kako ne bi došlo do neželjenih problema kao što je slučajno brisanje zapisa ili neželjene promjene koje se naprave na tom originalnom zapisu. Prije nego što se započne projekt dobro je napraviti kopiju svih uvezenih datoteka. Može se napraviti i sigurnosna kopija cijelog projekta jer svaka datoteka koja ima veze s tim projektom bit će pohranjena u podatkovnoj mapi tog projekta.

Audacity može uvesti WAV, WMA, AIFF, AU, IRCAM, MP3 i OGG datoteke.

Razlog velikog broja različitih formata za zapis zvuka leži u činjenici da je zvuk memorijski vrlo zahtjevan. Pohranjivanje informacija o nekom zvuku zahtijeva velike količine podataka. Neki formati datoteka, poput Microsoftovog WAV formata, ne koriste nikakvo sažimanje (kompresiju), pa su datoteke velike i neprikladne za upotrebu na Internetu ili za slanje elektroničkom poštom.

Drugi formati datoteka koriste sažimanje. Sažimanje može biti izvedeno na način da nema gubitka informacija. Formati datoteka koji nude ovakve algoritme sažimanja u konačnici uvijek imaju manju uspješnost, pa su datoteke veće. Prednost takvih datoteka je taj da je zvuk uvijek moguće rekonstruirati u originalnom obliku. Danas su najpopularniji formati koji koriste lossy tehniku sažimanja zvuka. Prilikom takvog sažimanja ne čuvaju se svi podaci o zvuku, već algoritam za sažimanje odbacuje manje važne podatke koji predstavljaju zvukove koje ljudsko uho ionako ne bi moglo čuti. Konačna veličina takvih datoteka mnogo je manja u odnosu na nesažete datoteke (ponekad i do 20 puta). Primjer takvog zapisa je MP3.

Svaki tip računalne platforme i operativnog sustava koristi svoj jedinstven format audio zapisa za reprodukciju i snimanje.

5.3.1. Vrste audio zapisa

WAV (Windows Wave format)

Ovo je matični format zvuka u operacijskom sustavu Windows. Naziv dolazi od eng. riječi *wave* koja znači val. Sve Windows aplikacije koje imaju ikakve veze sa zvukom mogu baratati s WAV datotekama. Nesažete WAV datoteke mogu biti vrlo velike. Jedna minuta glazbe u WAV formatu, pohranjena u CD kvaliteti, zauzet će više od 10 MB podataka na disku. Za pohranjivanje jednog glazbenog CD-a na tvrdom disku u WAV formatu stoga bi bilo potrebno oko 600 MB. Prilikom prenošenja glazbe s audio CD-a na računalo koristi se WAV format za zapis zvuka koji se onda može kodirati u neki drugi sažeti format, primjerice MP3. Ovakav se postupak naziva digitalna audioekstrakcija. Audacity može čitati i zapisivati ovaj format.

AIFF (Audio Interchange File Format)

To je nesažeti audio format izvorno je korišten na računalima Apple i Silicon Graphics (SGI). Podržan je kod većine računalnih sustava. Nije tako čest kao WAV format. Ove

datoteke se spremaju u 8-bitnom monotičkom (mono ili jedan kanal) formatu, koji nije komprimiran, pa rezultat mogu biti velike datoteke. Audacity može čitati i zapisivati ovaj format.

MP3 (MPEG I, Layer 3)

MP3 je kraći naziv za algoritam kodiranja zvuka MPEG-1 Audio Layer 3. Kratica MPEG dolazi od Moving Pictures Experts Group. Osim kompatibilnosti, jedan od najvećih prednosti MP3-a nad ostalim formatima glazbenih datoteka je u tome što korisnici mogu sami odabrati stupanj sažimanja. Veći stupanj sažimanja daje manju MP3 datoteku, no i lošiju kvalitetu zvuka, dok manji stupanj sažimanja stvara veću datoteku, ali i vjernije odgovara originalnom zvučnom zapisu iz kojega je stvoren. Mjerilo kvalitete MP3 zapisa je *bit rate*, a to je količina bitova kojom je predstavljena jedna sekunda zvučnog zapisa. Veći bit rate znači da se koristi manji stupanj sažimanja i obrnuto. Osnovne karakteristike MP3 formata, i glavni razlog njegove popularnosti su velika kompresija uz očuvanje kvalitete zvuka. Ipak, MP3 format je tzv. lossy algoritam, što znači da odstranjuje dio informacija iz ulaza s ciljem smanjenja veličine datoteke. Ovaj gubitak je uglavnom neprimjetan, budući da MP3 algoritam odstranjuje uglavnom dijelove koji nisu primjetni ljudskom uhu.

WMA (Windows Media Audio)

Microsoft je bio suočen s očitim nedostacima WAV datoteka pa je razvio vlastiti sažeti format glazbenih datoteka WMA. Taj je format primarno namijenjen korištenju za Windows Media Player. Sve su češći i prijenosni MP3/WMA playeri, a ovaj format zapisa glazbe prihvatili su i divovi glazbene industrije poput Sonyja. Iako nije toliko raširen (u odnosu na MP3) i popularan među korisnicima, WMA datoteke nude CD kvalitetu zvuka s upola manjom veličinom datoteka. Sve je veći broj prijenosnih uređaja za reprodukciju koji podržavaju WMA, pa ova memorijska ušteda nikako nije zanemariva. Ovakvi uređaji mogu korištenjem WMA sažimanja u istom memorijskom prostoru pohraniti dvostruko više glazbe nego u slučaju MP3-a.

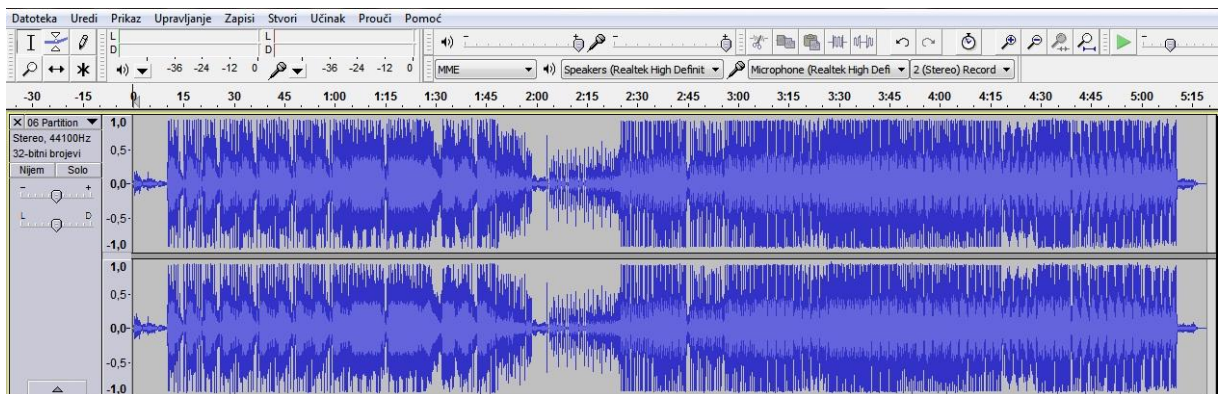
Ogg Vorbis

Ovo je noviji komprimirani audio format koji je osmišljen kao besplatna alternativa za MP3 datoteke. Ogg Vorbis datoteke nisu toliko česte. Iste su veličine kao i MP3 datoteke no s boljom kvalitetom. Koristi sažimanje s gubicima (baš kao i MP3 datoteke).

Zbog retrogradne kompatibilnosti, preporučeno je da Ogg Vorbis datoteke koriste ekstenziju .ogg. Audacity može napraviti i uvoz i izvoz ovog formata.

5.4. Reproduciranje

Nakon što je datoteka uvezena ona bi trebala biti prikazana na sučelju Audacityja. Ovisno o tome kakva je datoteka uvezena, zapis na sučelju trebao bi izgledati kao na slici 10.



Slika 10. Uvezena MP3 datoteka

Alatna traka *Za gibanje* sadrži kontrole koje su potrebne za reprodukciju i kretanje po zapisu (skok na početak i kraj, pauza i zaustavljanje) te za snimanje zvuka. Pritiskom na tipku SHIFT na tipkovnici, kontrola *Sviraj* (eng. Play) mijenja svoju funkciju u kontrolu *Prosviravaj* (eng. Loop).



Slika 11. Audacityjeva alatna traka *Za gibanje*

Klikom na zelenu tipku *Sviraj* (slika 11 pod 1), koja se nalazi na alatnoj traci *Za gibanje* (slika 11), reproducira se uvezena datoteka.

6. Snimanje zvuka

Za snimanje zvuka pomoću mikrofona, najprije treba provjeriti da li je mikrofon ispravno uključen na zvučnu karticu računala. Priključak mikrofona treba spojiti na ulaz Mic In zvučne kartice.

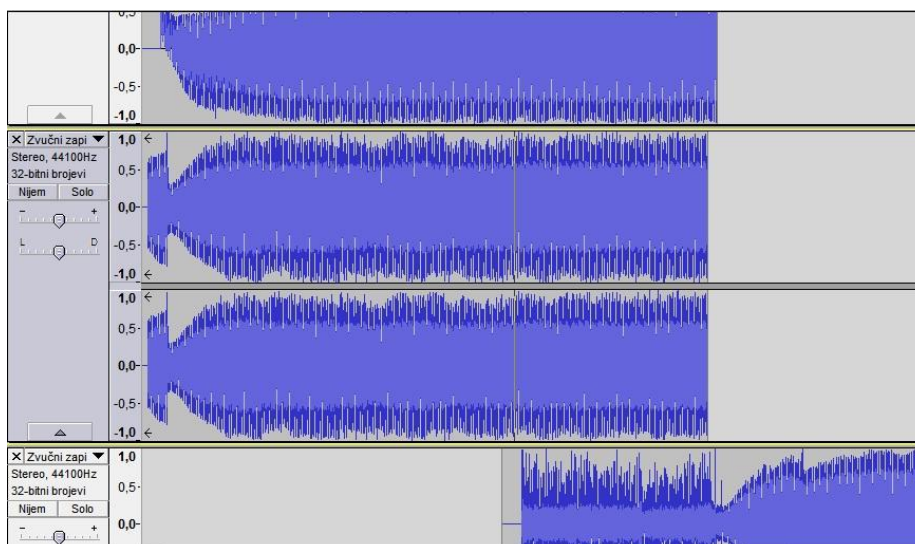
Nakon što je program Audacity otvoren na alatnoj traci *Za uređaje* treba odabrati Microphone i 2(Stereo) Recording.



Slika 12. Audacityijeva alatna traka *Za uređaje*

Na alatnoj traci *Za gibanje* treba kliknuti na gumb *Snimi* (slika 11 pod 4) da bi snimanje počelo, a klikom na gumb *Zastani* (slika 11 pod 3) ili *Zaustavi* (slika 11 pod 2) za završetak snimanja. Naredbe *Snimi*, *Zaustavi* i *Zastani* mogu se izabrati i na drugi način. Jedan od njih je kliknuti mišem na padajući izbornik *Upravljanje* te izabrati neku od navedenih naredbi ili koristiti prečac na tipkovnici. Prečac za naredbu *Snimi* je slovo R na tipkovnici, za naredbu *Zaustavi* je *Razmaknica* (eng.Space), a za naredbu *Zastani* je slovo P.

Snimljeni zvuk vidi se kao zvučni zapis. Ako se nakon snimanja klikne naredba *Zastani*, može se nastaviti snimanje zvuka tamo gdje se paузiralo snimanje. Ako se klikne *Zaustavi*, Audacity će otvoriti novi zvučni zapis čiji će se zvuk vidjeti u novoj traci ispod prethodnog zapisa. Međutim snimka se može nastaviti ili preklopiti s prethodnim ako se postavi točka unosa na željeno mjesto. Točka unosa se postavlja pomoću alata *Biralo* iz alatne trake *S pomagalima*.



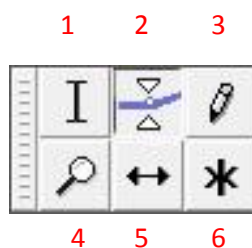
Slika 13. Snimljeni zvuk od početka zvučnog zapisa i od sredine zvučnog zapisa odabranog pomoću *Birala*

Ako se želi početi novo snimanje, neovisno o prethodnom, treba iz padajućeg izbornika *Datoteka* pokrenuti novi projekt, te se otvara novi prozor Audacity.

7. Osnove obrade zvuka

Programi za obradu zvuka čiste tragove dijaloga, smanjuju slojeve specijalnih efekata, postavljaju zvuk na određeno mjesto i vrijeme, stvaraju ambijentne zvučne zapise s izrezivanjem neželjenih zvukova i miješanjem sa zanimljivim i potrebnim zvukovima. Glazbeni producenti mogu izrezati određene vokale iz pjesme ili ih prebaciti na drugo mjesto u pjesmi.

Uređivanje i obrada zvuka je zapravo rezanje, kopiranje, umetanje, izbljeđivanje, mijenjanje, miješanje, dodavanje efekata i podešavanje glasnoće zvučnog materijala. Uređivanje zvučnog zapisa obavlja se pomoću glavnih alata iz alatne trake *S pomagalima*.



Slika 14. Audacityijeva alatna traka *S pomagalima*

Svaki od alata s alatne trake *S pomagajima* sa slike 14 obavlja sljedeće.

Biralo (eng. *Selection tool*) (slika 14 pod 1)

Služi za odabiranje segmenta koji se želi preslušati ili obrađivati. Kako ga koristiti: odabrati alat, postaviti ga na početnu točku i povući do željene završne točke. Audacity će zatamniti označeni segment, a do sljedećeg odabira će sve promjene primijeniti isključivo na označeni segment. Prečac na tipkovnici je tipka F1.

Omatalo (eng. *Envelope tool*) (slika 14 pod 2)

Služi za promjenu glasnoće tijekom vremena. Kako ga koristiti: odabrati alat, postaviti ga na određeno mjesto na zapisu koje se želi pojačati ili stišati, pritisnuti i povući gore ili dolje. Tako će se promijeniti glasnoća cijele trake. Promjena glasnoće tijekom vremena može se postići tako da se na više mjesta postavi alat te se pritisne i povuče. Izabrana glasnoća može se promijeniti i naknadnim pomicanjem bijelih točaka. Prečac na tipkovnici je tipka F2.

Crtalo (eng. *Draw tool*) (slika 14 pod 3)

Služi za preinaku pojedinih segmenata zvučnog vala. Grafički prikaz treba toliko uvećati da se vide točke zapisa koje se zatim alatom uhvate i pomaknu na željenu amplitudu. Prečac na tipkovnici je tipka F3.

Povećalo (eng. *Zoom tool*) (slika 14 pod 4)

Služi za uvećavanje i smanjivanje pogleda. Prečac na tipkovnici je tipka F4.

Vremenski pomak (eng. *Timeshift tool*) (slika 14 pod 5)

Služi za hvatanje i pomicanje zvučnih zapisa ili segmenata zapisa na određeno mjesto. U projektima s više zvučnih zapisa može se vrlo precizno namjestiti početak svakog zapisa u odnosu na ostale pomoću ovog alata. Jednostavnim prenošenjem pojedinog zvučnog zapisa prema dolje ili gore može se i promijeniti redoslijed zapisa u projektu. Prečac na tipkovnici je tipka F5.

Višenamjenski alat (eng. *Multi Tool*) (slika 14 pod 6)

Automatski bira jedan od 5 nabrojanih alata ovisno o pokretima miša ili pritisnutim tipkama. Prečac na tipkovnici je tipka F6.

7.1. Izreži, Kopiraj, Zalijepi

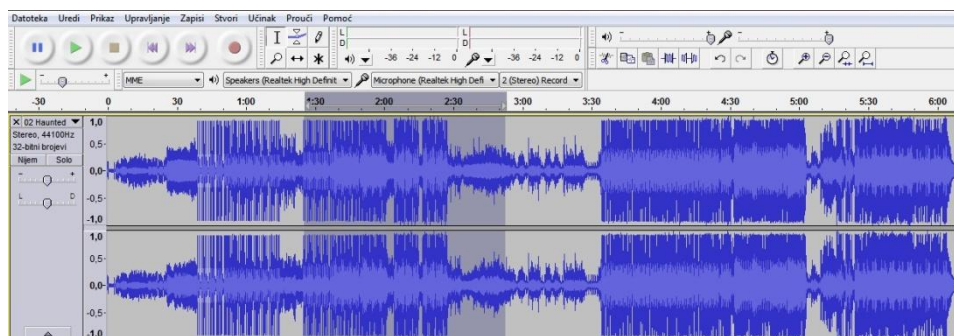
Najosnovniji korak u uređivanju zvučnih zapisa je *Izreži* i *Zalijepi*. U prošlosti se to radilo sa zvučnim trakama na kojima se prije snimao zvuk. To je bilo vrlo jednostavno za napraviti, a još je jednostavnije i sa zvučnim podacima na računalu.

Za početak treba se označiti dio zapisa koji se želi izrezati ili kopirati. Za označavanje služi alat *Biralo* iz alatne trake *S pomagalima*. Označuje se vizualizirani zvuk na zvučnom zapisu. To se obavlja na način:

- lijevim klikom miša odabire se taj alat
- pokazivačem (mišem) treba doći na zvučni zapis
- postaviti ga na početak ili kraj dijela zapisa koji se želi označiti
- klik na željeno mjesto u zapisu i tehnikom povuci i pusti (eng. Drag and Drop) označuje se željeni dio

Ako označivanje nije dobro može se ispraviti označeni dio:

- pokazivač se postavlja na rub s unutrašnje strane označenog dijela da se pojavi "prstić"
- klik i tehnikom povuci i pusti pomakne se rub bloka



Slika 15. Označeni dio zvučnog zapisa

Ako se želi označiti veliki (dugački) dio zapisa:

- označi se prvi ili početni dio budućeg bloka
- držeći tipku Shift na tipkovnici klik na kraj željenog bloka

Nakon označavanja željenog dijela zvučnog zapisa taj dio može se izrezivati, premještati i kopirati. Premještanje i kopiranje dijelova zvučnih zapisa bit će potrebno žele li se iskoristiti dijelovi postojećih zapisa za stvaranje novog zvučnog zapisa. Postupak premještanja i kopiranja sličan je kao i većini Windows programa. Uređivanje zvučnog zapisa pomoću ovih naredbi obavlja se pomoću glavnih alata iz alatne trake *Za uređivanje*.

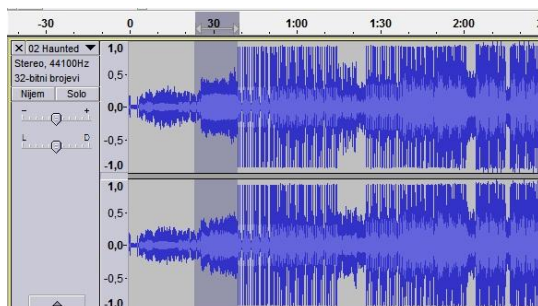


Slika 16. Audacityjeva alatna traka *Za uređivanje*

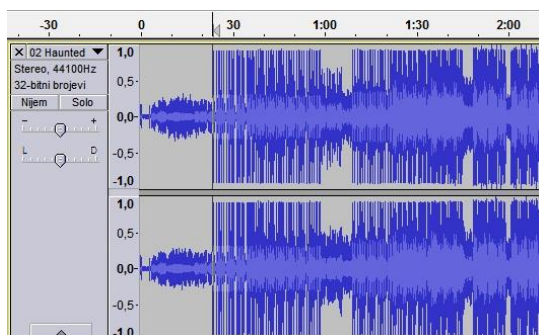
7.2. Premještanje

Premještanjem zvučni zapis se briše sa starog mjesta i lijepi se na novo mjesto. To se obavlja na način:

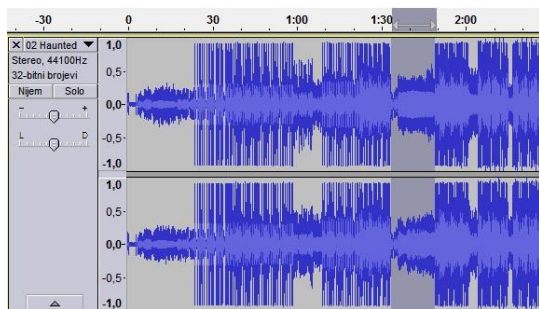
- označiti mišem dio segmenta na zvučnom zapisu koji se želi premjestiti na novo mjesto
- klik na alat *Izreži* (slika 16 pod 1) ili se otvori padajući izbornik *Uredi* te izabrati naredbu *Izreži*
- klik na mjesto u zvučnom zapisu gdje se želi zalijepiti izrezani dio
- klik na alat *Zalijepi* (slika 16 pod 3) ili se otvori padajući izbornik *Uredi* te izabrati naredbu *Zalijepi*



Slika 17. Zvučni zapis prije naredbe *Izreži*



Slika 18. Zvučni zapis nakon naredbe *Izreži*



Slika 19. Zvučni zapis nakon naredbe *Zalijepi*, izrezani dio premješten je na drugo mjesto u zvučnom zapisu

7.3. Kopiranje

Kopiranjem dijelova zvučnih zapisa može se umnažati zvučni zapis te tako stvarati novi. To se obavlja na način:

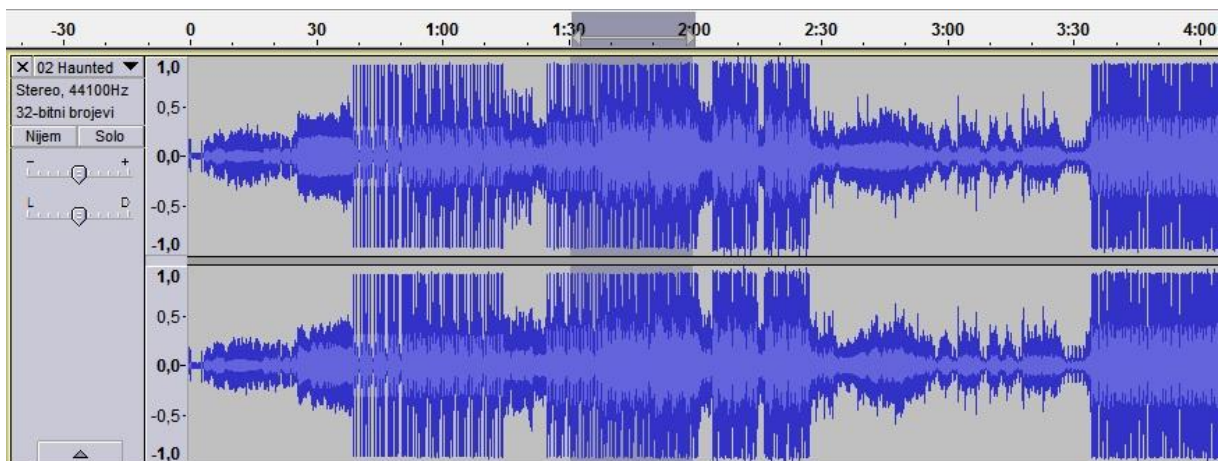
- označiti mišem dio segmenta na zvučnom zapisu koji se želi kopirati
- klik na alat *Kopiraj* (slika 16 pod 2) ili se otvori padajući izbornik *Uredi* te izabrati naredbu *Kopiraj*
- klik na mjesto u zvučnom zapisu gdje se želi zalijepiti kopirani dio
- klik na alat *Zalijepi* (slika 16 pod 3) ili se otvori padajući izbornik *Uredi* te izabrati naredbu *Zalijepi*

7.4. Tišina

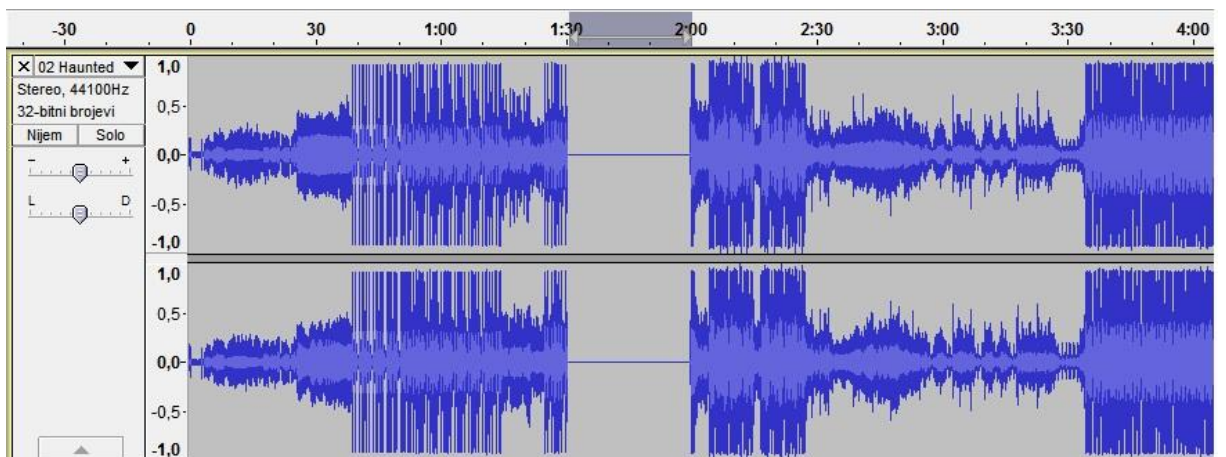
Naredbom *Tišina* može se skroz utišati dio zapisa. Ova naredba izravna odabrani segment zvučnog zapisa. To je u osnovi naredba *Izreži* bez brisanja odabranog segmenta u

potpunosti. Utišani segment još je uvijek dio zapisa, ali pri reproduciranju taj dio neće imati zvuka. Upotreba naredbe *Tišina* obavlja se na način:

- označiti mišem dio segmenta na zvučnom zapisu dio koji se želi utišati
- klik na padajući izbornik *Stvori* te izabrati naredbu *Tišina*
- ili nakon označavanja pritisnuti prečac na tipkovnici *Ctrl*L*



Slika 20. Označeni dio zvučnog zapisa od 1:30 do 2:00

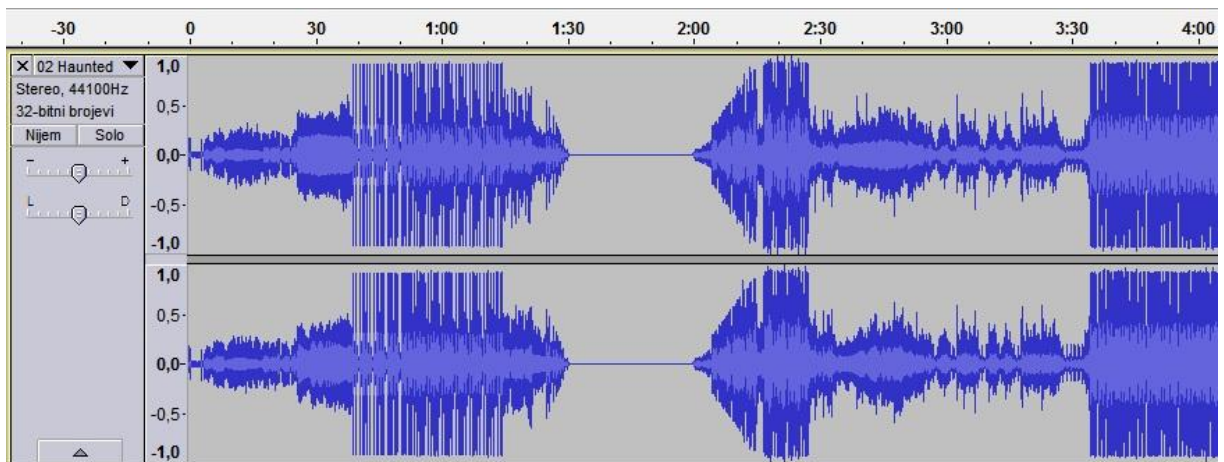


Slika 21. Utišani dio zvučnog zapisa od 1:30 do 2:00

Ako se utiša neki središnji dio zvučnog zapisa, pri reproduciranju, treba uzeti u obzir da nagli prestanak zvuka te nagli početak zvuka može loše zvučati. Kako bi se popravio dojam takve tišine, usred zvučnog zapisa, bilo bi korisno izbljediti područje oko utišanog dijela, kako bi se smanjio taj efekt. Izbljediti dio zapisa znači zapravo postupno stišavati

ili postupno pojačavati zvuk. Pravilo za upotrebu takvih efekata je: postupno stišavanje zvuka prije tišine treba biti duže od postupnog pojačavanja zvuka. Upotreba efekata stišavanja i pojačavanja zvuka obavlja se na način:

- označiti mišem dio segmenta na zvučnom zapisu koji se želi utišati
- za lagano stišavanje to je dio prije tišine:
 - klik na padajući izbornik *Učinak* te izabrati naredbu *Promjena glasnoće: Izblijedi*
- za lagano pojačavanje to je dio poslije tišine:
 - klik na padajući izbornik *Učinak* te izabrati naredbu *Promjena glasnoće: Odblijedi*

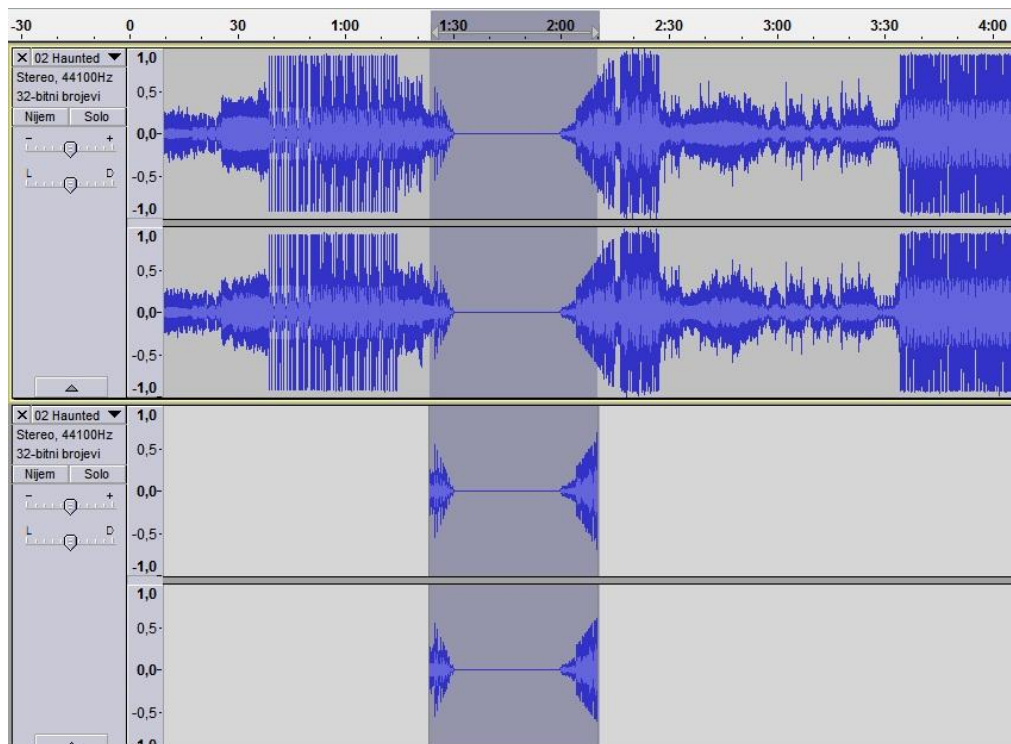


Slika 22. *Izblijeđeni* dio zvučnog zapisa prije tišine i *Odblijede*ni dio zapisa poslije tišine

7.5. Udvostruči

Udvostručavanje dijela zvučnog zapisa se dobiva kopiranjem tog dijela. Dio koji se želi udvostručiti otvorit će se u novom zvučnom zapisu na istom mjestu na kojem se nalazi u izvornom zvučnom zapisu. Dupliciranje se obavlja na način:

- označiti mišem dio segmenta na zvučnom zapisu koji se želi udvostručiti
- klik na padajući izbornik *Uredi* te izabrati naredbu *Udvostruči*
- ili nakon označavanja pritisnuti prečac na tipkovnici *Ctrl*D*



Slika 23. Udvostručavanje - Kopirani dio segmenta u novom zvučnom zapisu

7.6. Dodavanje učinaka

U programu Audacity postoji niz zvučnih učinaka koji se mogu primijeniti na otvoreni zapis. Učinci se mogu dodavati i naknadno. Dodavanje učinaka obavlja se na način:

-označiti mišem dio segmenta na zvučnom zapisu na koji se želi dodati učinak

-klik na padajući izbornik *Učinak* te izabrati željeni učinak

Učinaka ima mnogo međutim dodatni učinci mogu se napisati samostalno budući da Audacity sadrži ugrađeni programski jezik pod nazivom Nyquist. Program se piše u običnom uređivaču teksta i ne zahtijeva prevođenje.

Neki od učinaka su:

- *Pojačalo (eng. Amplify)*

Služi za pojačavanje snage označenog segmenta zapisa u decibelima.

- *Bas i Treble (eng. Bass and Treble)*

Služi za pojačavanje basova.

- *Promjena brzine (eng. Change Speed)*

Služi za ubrzavanje označenog segmenta zapisa za određeni postotak. Pri tome se mijenja visina tonova.

- *Promjena tempa (eng. Change Tempo)*

Služi za ubrzavanje tempa označenog segmenta zapisa u postocima. Pri tome se ne mijenja visina tonova.

- *Jeka (eng. Echo)*

Jeka, odnosno ponavljanje označenog segmenta.

- *Promjena glasnoće: Izblijedi/Odblijedi (eng. Fade In/Out)*

Služi za postupno pojačavanje ili smanjivanje glasnoće označenog segmenta zapisa.

Ovo je jedan od najčešće korištenih efekata.

- *Uklanjanje škljocaja (eng. Noise Removal)*

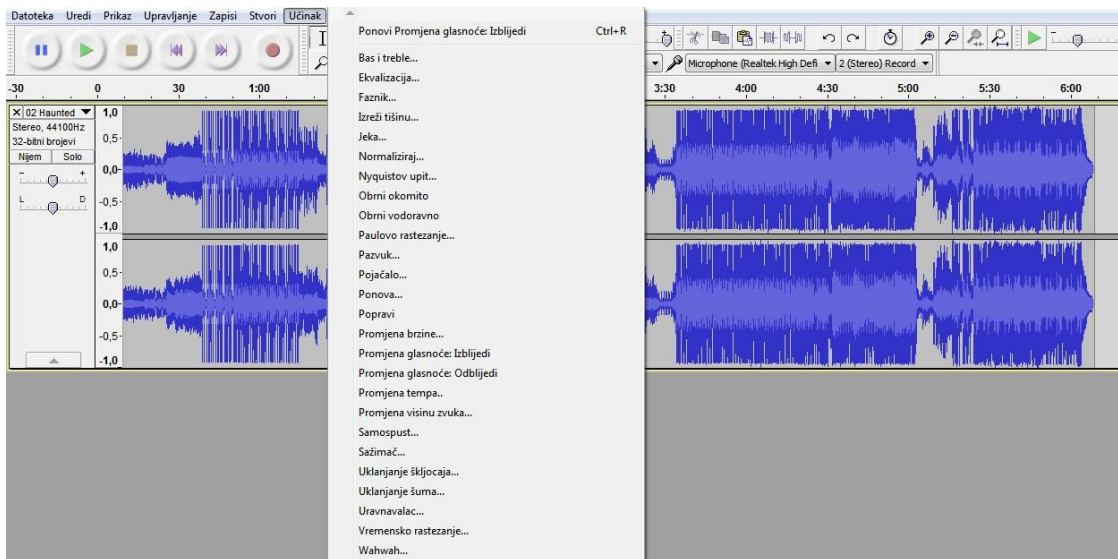
Služi za uklanjanje šumova.

- *Ponova (eng. Repeat)*

Služi za ponavljanje označenog segmenta određeni broj puta.

- *Obrni : okomito/vodoravno (eng. Reverse)*

Označeni segment pretvara se u njegovu zrcalnu sliku zapisujući ga unatraske.



Slika 24. Vrste učinaka

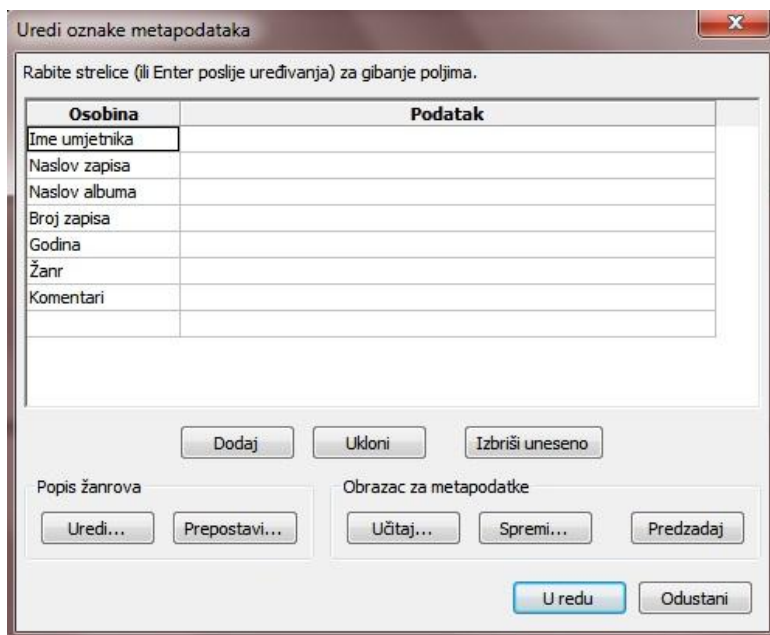
7.7. Izvoženje zvučnog zapisa (eng. Export)

Važno je znati razliku između spremanja projekta i izvoza projekta. Izvoženjem se stvara zvučna datoteka (.mp3, .wav ili .ogg), a spremanjem se pohranjuje Audacity projekt (.aup) u kojem je zabilježeno sve što se obradilo na zvučnim zapisima tako da se ponovnim otvaranjem obrađivanje može nastaviti od točke gdje se stalo prije spremanja.

Izvoženje zvučnog zapisa radi se pomoću padajućeg izbornika *Datoteka* te naredbom *Export Audio*. Ovisno o formatu u kojem se želi iznijeti materijal, bira se *WAV*, *MP3*, *Ogg Vorbis* i dr. *WAV* i *Ogg Vorbis* su automatski podržani dok za *MP3* izvoženje mora se s interneta skinuti datoteka „*lame_enc.dll*” i onda je locirati u izborniku za podešavanje parametara.

Ako se želi iznijeti svaka traka zasebno, upotrebljava se opcija s padajućeg izbornika *Datoteka* te naredba *Izvoz više datoteka*.

Većina svirača audiozapisa (*media playera*) prilikom sviranja određene pjesme može prikazivati i određene informacije o pjesmi (npr. naziv, izvođač, album, godina izdanja i sl.). Te informacije nazivaju se *ID3 metapodaci* (*metadata*) i preporučljivo ih je popuniti u Audacityju prije izvoženja zvučnog zapisa. Ta opcija nalazi se na padajućem izborniku *Datoteka* te naredba *Uredi metapodatke*.



Slika 25. Metapodaci

Audacity je, po mnogima, najbolji besplatni uređivač zvuka na svijetu, a prijenosna varijanta omogućuje pokretanje programa na bilo kojem računalu s utorom USB-a bez instalacije i pristupa internetu. Za većinu školskih potreba više je nego dovoljan, a može se i proširiti dodavanjem vanjskih efekata. U kombinaciji s Windows Live uslugama, kreirani zvučni zapisi dostupni su sa svakog računala, kako nama, tako i učenicima.

8. Pokusi

8.1. Pokus 1 : Određivanje razine zvuka raznih situacija u razredu

8.1.1. Jakost i razina zvuka

Jakost zvuka je intenzitet zvučnog vala. To je energija koju zvučni val prenese u jedinici vremena kroz jediničnu površinu okomitu na smjer širenja zvuka. Jedinica jakosti zvuka je vat po kvadratnom metru, $\frac{W}{m^2}$.

Svakodnevno se susreću različiti intenziteti zvuka od najslabijih, koje uho jedva čuje, pa do najjačih, koji uzrokuju bol, pa mogu čak izazvati i smrt. Kao prag čujnosti uzima se da je zvuk intenziteta :

$$I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$$

S tim intenzitetom uspoređuju se ostali intenziteti. Najjači intenzitet zvuka koji još ne oštećuje uho je oko $10 \frac{W}{m^2}$. Omjer između intenziteta najjačeg i najslabijeg zvuka je 10^{13} .

Stoga je praktičnije računati s logaritmima omjera intenziteta umjesto sa samim omjerima intenziteta.

Zato se uvodi pojam razina zvuka L kao deseterostruki logaritam omjera intenziteta i to se računa pomoću formule:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

gdje je I intenzitet zvuka, I_0 intenzitet zvuka na pragu čujnosti, a L razina zvuka izražena decibelima (dB). Zvuk na pragu čujnosti ima razinu $0 dB$, a zvuk od 120 do $130 dB$ počinje uzrokovati bol u uhu.

Glasnoća zvuka je subjektivni osjećaj jakosti zvuka u ljudskom uhu. Ona ovisi o frekvenciji zvuka i intenzitetu zvuka. Frekvencija zvučnog vala primarni je faktor u određivanju visine tona nekog zvuka. Pomoću frekvencije određuje se je li neki zvuk visok ili dubok.

Zvukovi istog intenziteta, ali različitih frekvencija, čine se uhu različito glasnim. Zato za određivanje razine glasnoće treba nepoznati zvuk usporediti s nekim referentnim zvukom. Dogovorno se za tu svrhu upotrebljava zvuk frekvencije 1000 Hz. Jedinica za glasnoću zvuka je *fon*. Za zvuk frekvencije 1000 Hz *fon* je isto što i decibel. Uho je najosjetljivije na frekvencijama od 600 do 4000 Hz, a osjetljivost se s višim i nižim frekvencijama smanjuje.

Razina jakosti zvuka može se računati i pomoću amplitude akustičkog tlaka, tj. najveća promjena tlaka, i to koristeći sljedeću formulu:

$$\Delta p_{max} = \rho v \omega y_0$$

gdje je ρ gustoća medija, v brzina rasprostiranja vala kroz medij, ω kružna frekvencija i y_0 amplituda titranja.

Promjena tlaka može se izraziti pomoću formule:

$$\Delta p = \Delta p_{max} \cos \left(\frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi}{\lambda} x \right)$$

Razina zvuka se može izraziti i pomoću promjene tlaka te izgleda kao:

$$L = 20 \log \frac{\Delta p_{max}}{(\Delta p_{max})_0}$$

gdje je $(\Delta p_{max})_0$ minimalna amplituda promjene tlaka koju bubnjić može detektirati, a iznosi približno oko $3 \cdot 10^{-5} Pa$.

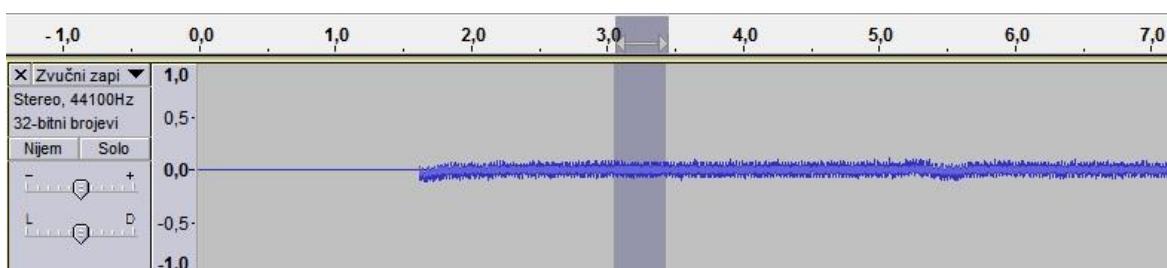
8.1.2. Pokus

Kako bi učenici dobili dojam kolika je razina zvuka svakodnevnih situacija u razredu može se napraviti pokus pomoću Audacityja. Za pokus su potrebni sljedeći instrumenti i alati: računalo s instaliranim programom Audacity i mikrofonom.

Jedan od učenika izišao je pred ploču s mikrofonom u ruci te okrenuo mikrofonom prema razredu. Snimane su četiri situacije u razredu: šaputanje, razgovor, glasan razgovor te vikanje i dovikivanje. Pošto ovo nisu periodični zvukovi već šum i buka, nemoguće je odrediti samo jednu frekvenciju tog zvuka. No pomoću Audacityja može se odrediti najveća razina zvuka za određenu situaciju.

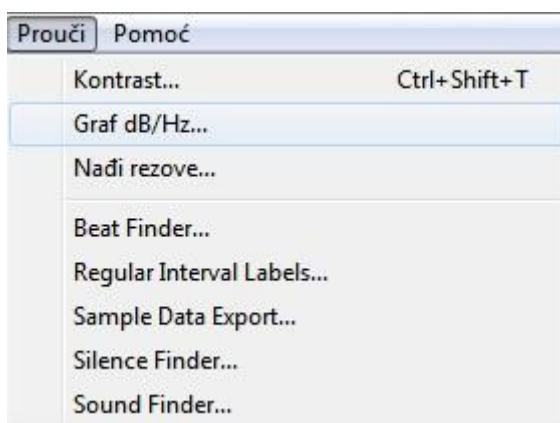
1) Šaputanje

Učenici su međusobno šaputali i snimio se zvuk na Audacity. Zvučni zapis od šaputanja izgleda kao na slici 26.



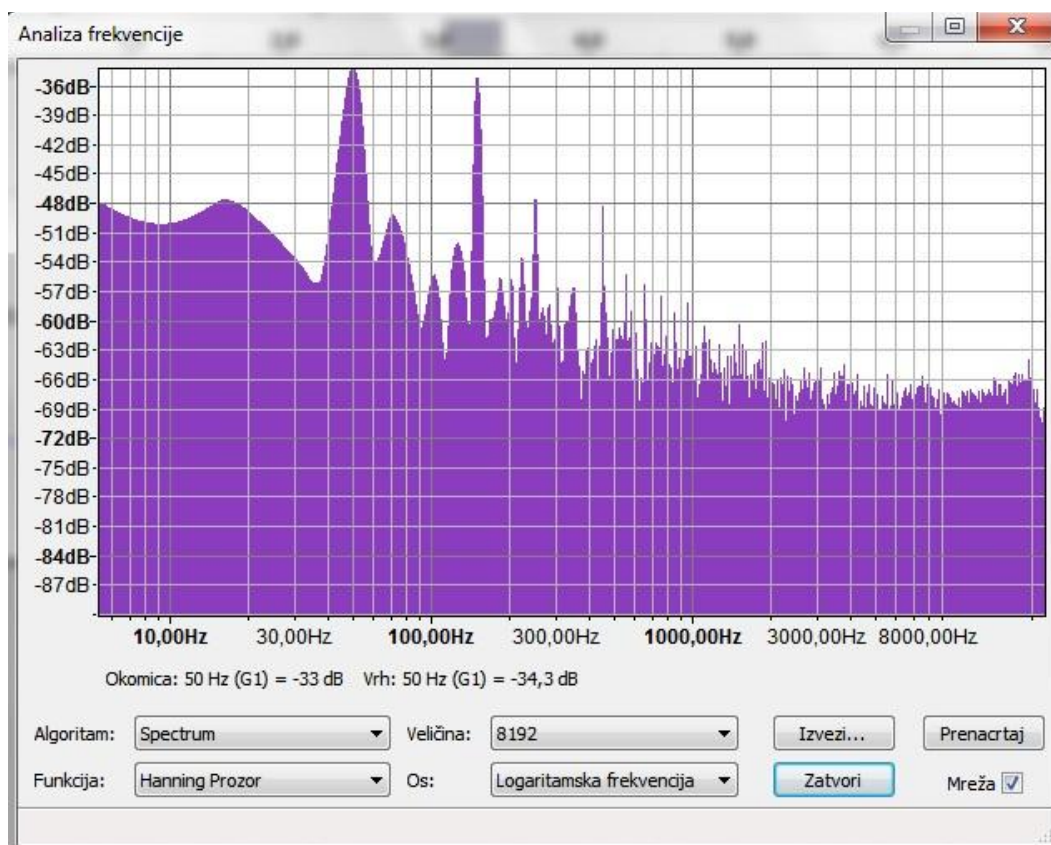
Slika 26. Zvučni zapis šaputanja

Kako bi se odredila razina zvuka snimljenog zapisa prvo treba označiti dio segmenta zvučnog zapisa kao na slici 26. Nakon toga izabire se padajući izbornik *Prouči* te klik na naredbu *Graf dB/Hz*. Ova naredba prikazana je na slici 27.



Slika 27. Padajući izbornik *Prouči*

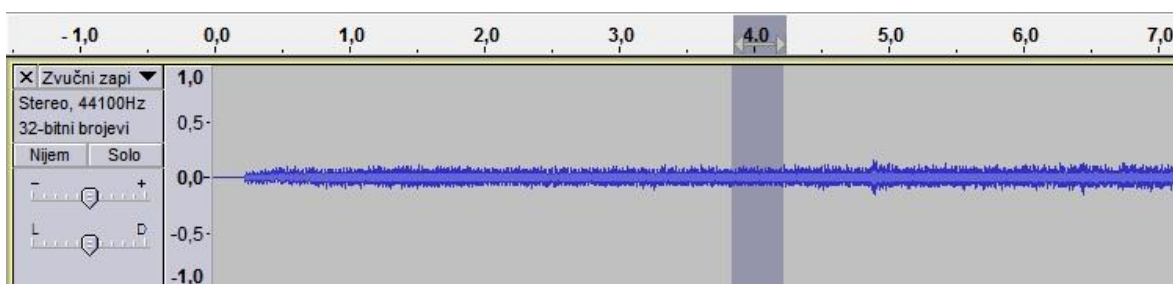
Nakon što se izabere naredba *Graf dB/Hz* stvara se novi prozor pod nazivom *Analiza frekvencije* koji je prikazan na slici 28. U prozoru treba namjestiti *Veličinu* na 8192 i *Os* na *Logaritamsku frekvenciju* kako bi očitavanje bilo što preciznije. Pomoću grafa koji je nastao analizom frakvencija snimljenog zvuka može se očitati razina zvuka. Na grafu treba očitati razinu zvuka za maksimum. Očitava se razina zvuka za *Vrh* koja u ovo slučaju iznosi *-34,3 dB*. Razina zvuka prikazana je negativnim brojevima.



Slika 28. Analiza frekvencije za šaputanje

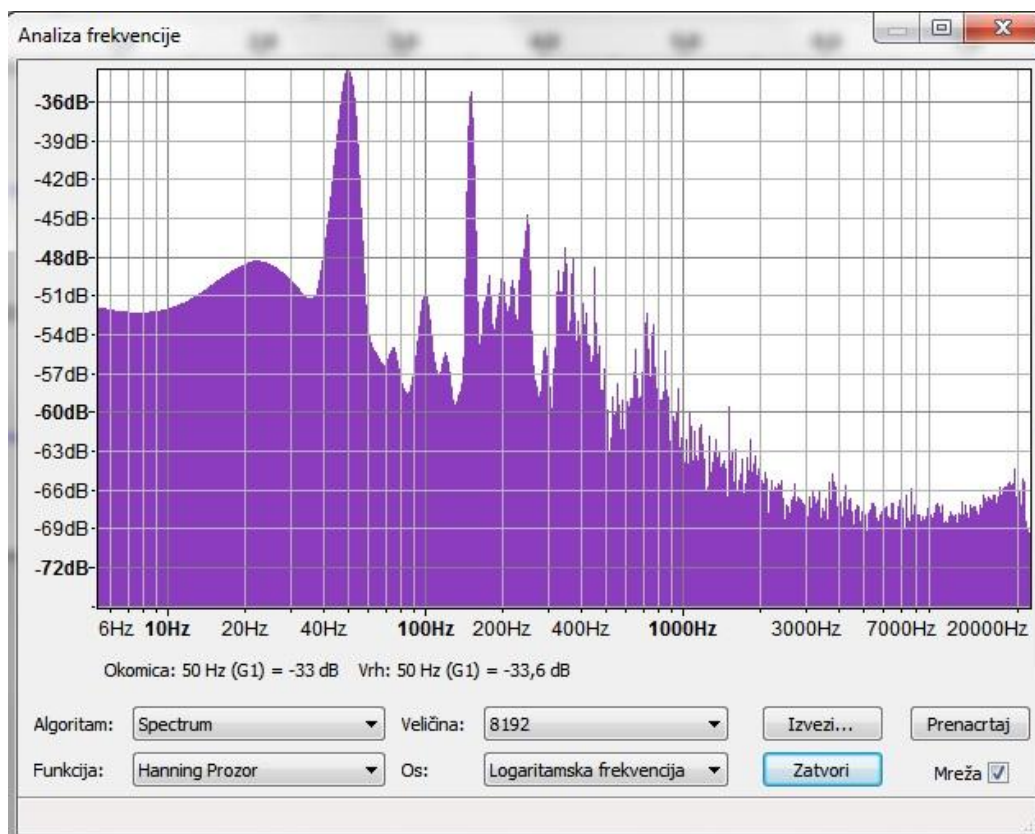
2) Razgovor

Sljedeća situacija koja je snimana je normalan razgovor između učenika. Zvučni zapis od razgovora izgleda kao na slici 29.



Slika 29. Zvučni zapis razgovora

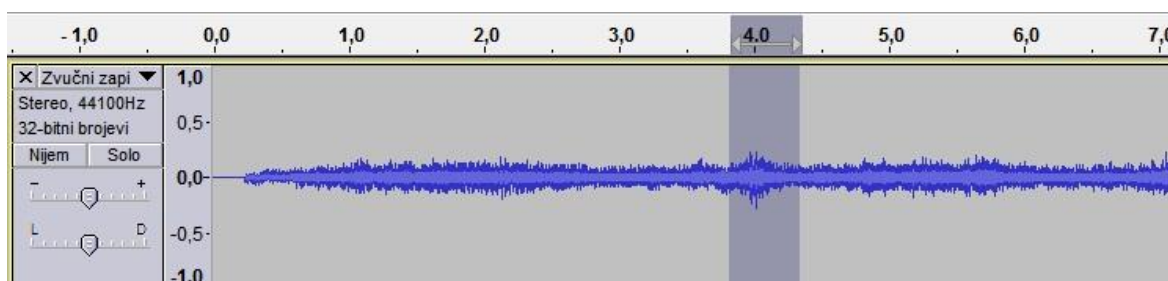
Nakon toga ponavlja se cijeli postupak iz prethodnog slučaja *Šaputanja*. *Analiza frekvencije* prikazana je na slici 30. Pomoću grafa ponovno se očitava razina zvuka za maksimum. Očitava se razina zvuka za *Vrh* koja u ovom slučaju iznosi $-33,6 \text{ dB}$.



Slika 30. Analiza frekvencije za razgovor

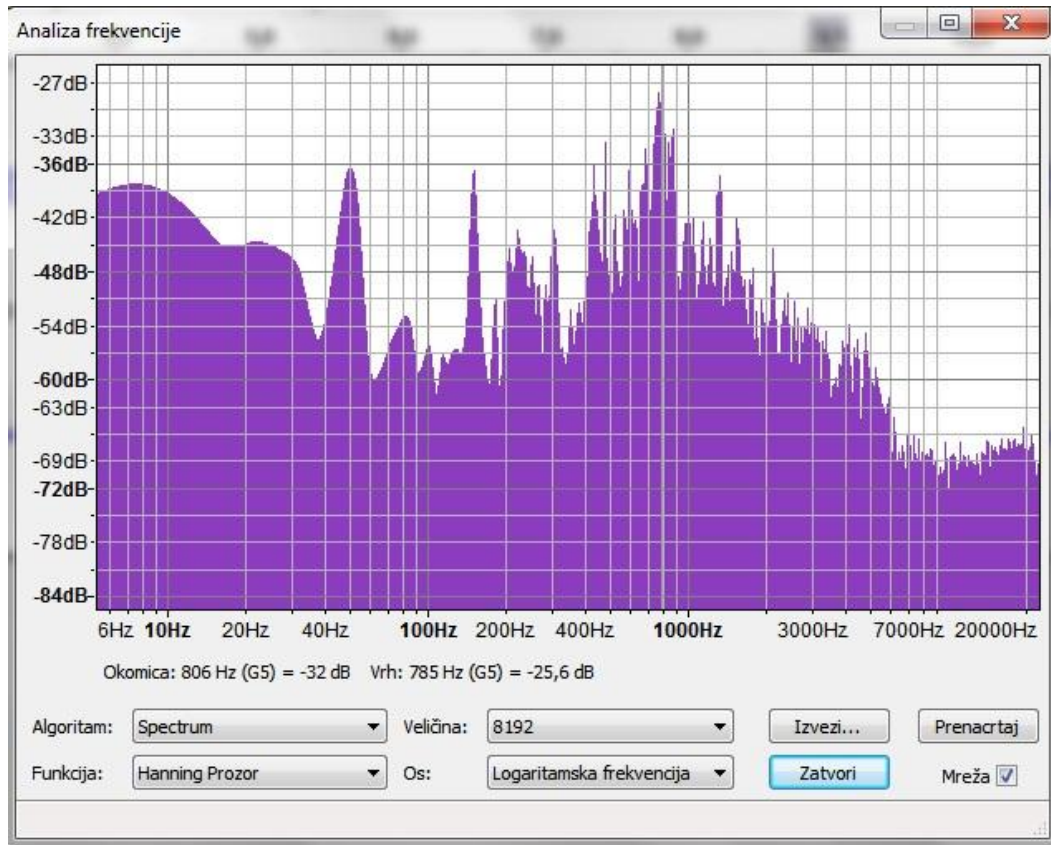
3) *Glasan razgovor*

Sljedeća situacija koja je snimana je glasan razgovor između učenika. Zvučni zapis od glasnog razgovora izgleda kao na slici 31.



Slika 31. Zvučni zapis glasnog razgovora

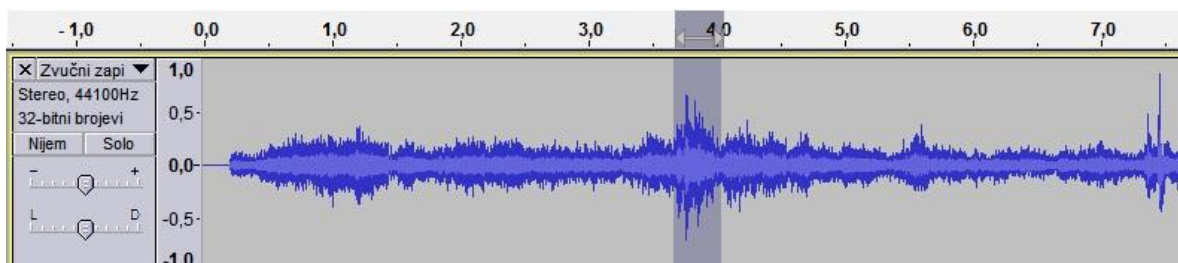
Nakon toga ponavlja se cijeli postupak iz prethodna dva slučaja. *Analiza frekvencije* prikazana je na slici 32. Pomoću grafa ponovno se očitava razina zvuka za maksimum. Očitava se razina zvuka za *Vrh* koja u ovom slučaju iznosi $-25,6 \text{ dB}$.



Slika 32. Analiza frekvencije za glasan razgovor

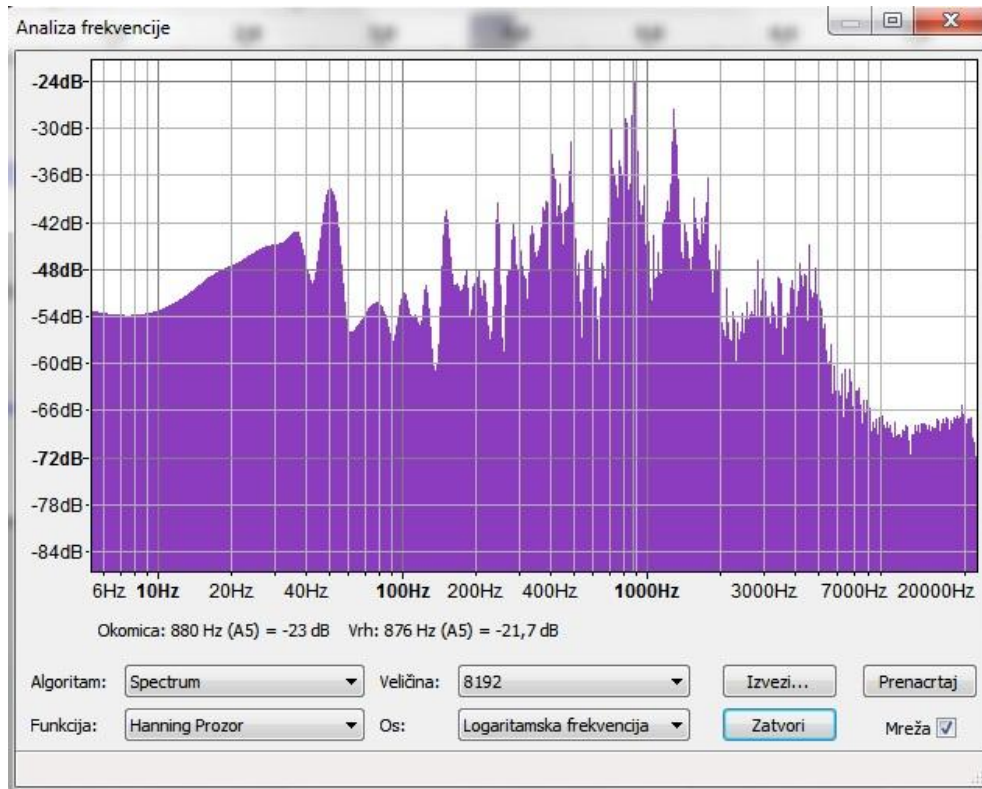
4) *Buka, vikanje i dovikivanje*

Sljedeća situacija koja je snimana je buka, vikanje i dovikivanje među učenicima. Zvučni zapis od toga izgleda kao na slici 33.



Slika 33. Zvučni zapis buke

Nakon toga ponavlja se cijeli postupak iz prethodna tri slučaja. *Analiza frekvencije* prikazana je na slici 34. Pomoću grafa ponovno se očitava razina zvuka za maksimum. Očitava se razina zvuka za *Vrh* koja u ovom slučaju iznosi $-21,7 \text{ dB}$.



Slika 34. Analiza frekvencije za buku

Pošto je Audacity mjerio razinu zvuka u negativnim brojevima to znači da više negativan broj odgovara manjoj razini zvuka. Prema tome najveću vrijednost razine zvuka ima buka ($-21,7 \text{ dB}$), zatim glasan razgovor ($-25,6 \text{ dB}$) pa normalan razgovor ($-33,6 \text{ dB}$) i najmanju vrijednost ima šaputanje ($-34,3 \text{ dB}$). Na zvučnim zapisima može se uočiti kako se povećava i amplituda zvučnih valova koja je povezana s intenzitetom zvuka. Pokusom se učenicima pokazuje koja je razlika u razini zvuka u situacijama u kojima se nalaze svaki dan u razredu. Izvođenje ovog pokusa ne zahtijeva mnogo vremena (desetak minuta) te se može provesti na početku sata kao uvod u glasnoću i jakost zvuka. Učenicima je pokus bio vrlo zanimljiv i nakon pokusa bili su zainteresirani za gradivo koje je uslijedilo.

8.2. Pokus 2 : Brzina zvuka u zraku

Zvuk je najsvakodnevnija pojava koja se poučava i proučava u fizici. To je najvažniji primjer longitudinalnog mehaničkog vala. Zvuk obuhvaća sve longitudinalne elastične valove u čvrstim tijelima, tekućinama i plinovima.

Brzina zvučnog vala ovisi o svojstvima medija kroz koji se val širi, kao što su elastičnost i gustoća medija. Širenje vala nije identično gibanju čestica medija kroz koje se val širi. Pri širenju vala kroz medij čestice uglavnom titraju oko svog ravnotežnog položaja. Brzina titranja čestica je mnogo manja od brzine širenja vala.

Pošto brzina širenja zvuka ovisi o svojstvima medija kroz koji se širi, ona neće biti ista u čvrstim tijelima, tekućinama i plinovima. Za svaki od navedenih medija postoji izraz za računanje brzine zvuka. Izraz za brzinu zvuka u čvrstim tijelima je :

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

gdje je Y Youngov modul elastičnosti, a ρ gustoća materijala određenog čvrstog tijela.

Izraz za brzinu zvuka u fluidima (tekućine i plinovi) je :

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

gdje je B volumni modul elastičnosti, a ρ gustoća fluida. U tablici 2 nalaze se razni iznosi brzine zvuka ovisno o mediju u kojem se zvuk širi.

Materijal	Brzina zvuka m/s
<i>Plinovi</i>	
Kisik	315
Zrak (pri temp. od 25°C)	346,1
Helij	999
<i>Tekućine</i>	
Tekući helij	211
Voda (pri temp. od 0°C)	1402
Voda (pri temp. od 20°C)	1482
<i>Čvrsta tijela</i>	
Staklo	5500
Čelik	5941
Aluminij	6420

Tablica 2. Brzina zvuka u različitim medijima

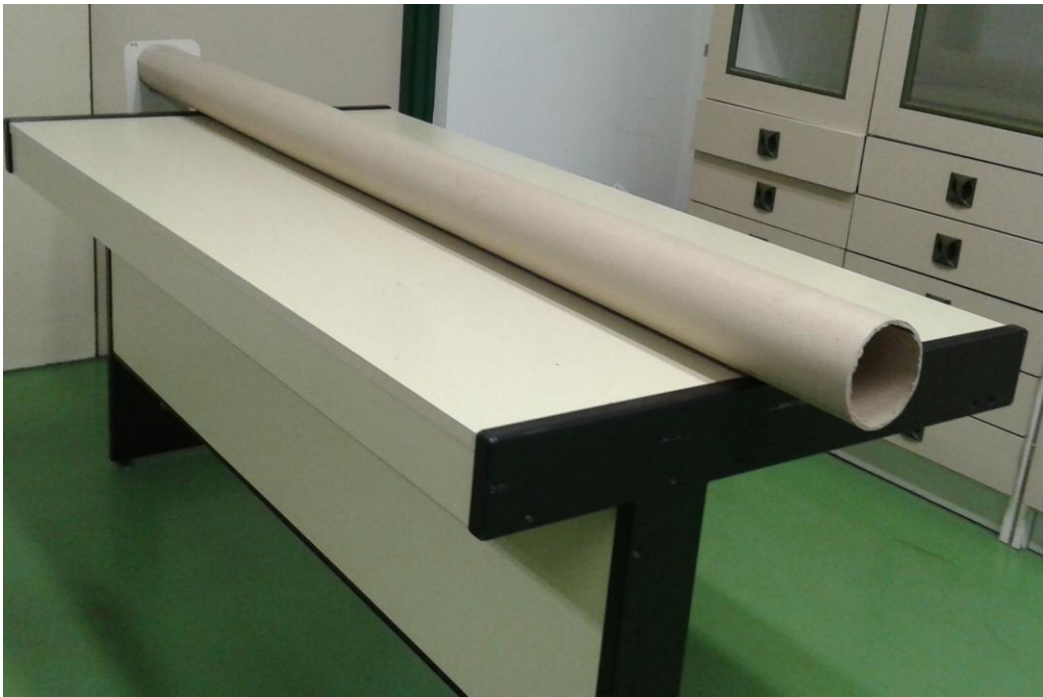
Računanje brzine zvuka u školama svodi se najčešće na uvrštavanje raznih konstanti i već unaprijed izračunatih vrijednosti u gotove formule. Međutim, upitno je koliko si učenici zaista mogu predočiti brzinu zvuka. Zvuk je stalni pratilac svih naših životnih aktivnosti i većina zvučnih valova s kojima se svakodnevno susrećemo rasprostiru se zrakom. Zbog toga bi bilo korisno izvesti pokus u kojem bi učenici dobili stvarni pojam brzine zvuka u zraku.

U tom pokusu neće biti potrebne veličine kao što su gustoća, elastičnost i dr. Koristit će se osnovna formula za računanje brzine:

$$v = \frac{s}{t}$$

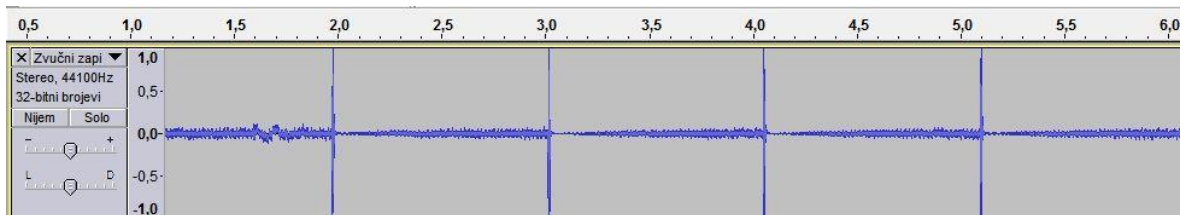
Za pokus su potrebni sljedeći instrumenti i alati: računalo s instaliranim programom Audacity, mikrofoni i dugačka cijev. Dugačka cijev korištena za ovaj pokus je iskorištena kartonska cijev oko koje se inače namotava tepih. Nabavljena je u prodavaonici tepiha gdje je bila namijenjena za recikliranje. Može se nabaviti besplatno s svim sličnim prodavaonicama.

Cijev se postavi na neku podlogu npr. stol. Jedan kraj cijevi mora se zatvoriti s krutim kartonom ili drvenom pločom. Na slici 35 nalazi se cijev spremna za izvođenje pokusa.



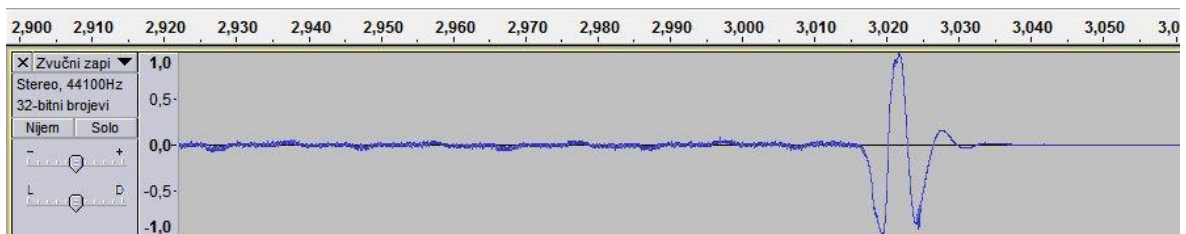
Slika 35. Cijev s jednim zatvorenim krajem

U prvom dijelu pokusa pomoću mikrofona treba snimiti na računalo u programu Audacity kratak i oštar zvučni događaj kao što je pucketanje prstiju ili pljesak rukama. U ovom pokusu korišteno je uzastopno pljeskanje rukama u razmaknutim vremenskim intervalima. Na slici 36 vidi se kako izgleda zvučni zapis snimljenog zvuka. Maksimumi na uzorku zvučnog zapisa označavaju pljesak rukama. Iz slike se vidi da se pljeskanje ponovilo četiri puta.



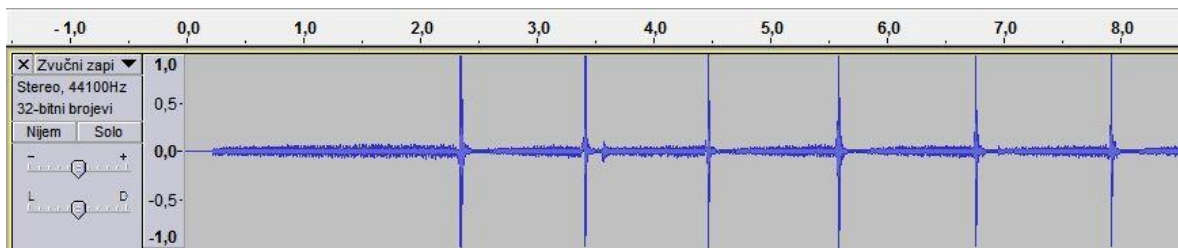
Slika 36. Zvučni zapis pljeskanja rukama

Ako se uveća jedan od maksimuma vidi se da je to zapravo trnujući val pošto je izvor zvuka samo jedan pljesak. Na slici 37 vidi se val koji trne brzo u vremenu.



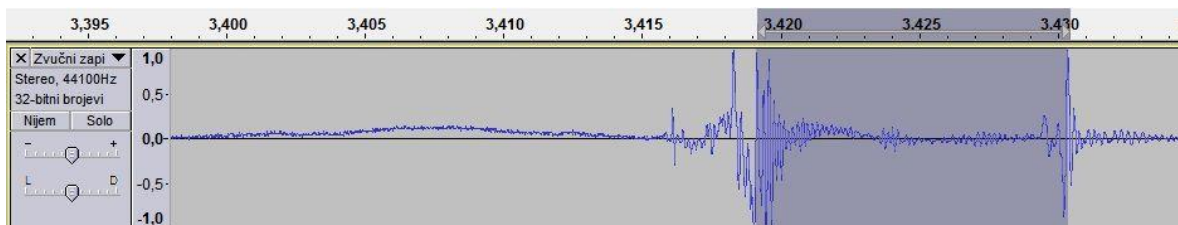
Slika 37. Povećan jedan od maksimuma - prikazuje val koji brzo trne u vremenu

U drugom dijelu pokusa mikrofona se postavlja na otvoreni ulaz cijevi. Sada na ulazu otvorene cijevi treba ponoviti pljeskanje rukama kao u prethodnom slučaju. Jedna osoba može držati mikrofona, a druga pljeskati u slučaju da nema postolja za mikrofona. Ponovno se snimi uzastopno pljeskanje na računalo u novi projekt Audacityja. Zvučni zapis izgleda kao na slici 38. Maksimumi na uzorku zvučnog zapisa označavaju pljesak rukama. Iz slike se vidi da se pljeskanje ponovilo šest puta.



Slika 38. Zvučni zapis pljeskanja rukama na ulazu u cijev

Na prvi pogled zvučni zapis pljeskanja na ulazu u cijev ne razlikuje se od pljeskanja slobodno u prostoru. Međutim ako povećamo jedan od maksimuma vidjet će se drugačiji zapis od zapisa na slici 37.



Slika 39. Povećan jedan od maksimuma – prikazuje dva vala koji brzo trnu u vremenu

Na slici 39 vide se dva vala koji brzo trnu u vremenu, ali tek nakon što se uvećao jedan od maksimuma sa slike 38. U prvom dijelu pokusa tog drugog vala nije bilo, a sad postoji. Taj drugi val je reflektirani val od izvornog vala koji predstavlja pljesak rukama. On se reflektira od zatvorenog dijela cijevi i vraća natrag do mikrofona. Taj val se ne čuje jer je brzina zvuka u zraku prevelika da bi ljudsko uho detektiralo ta dva zvuka odvojeno. Vremenski razmak između ta dva zvuka je manji od jedne sekunde, a ljudsko uho nije toliko osjetljivo da bi to opazilo. Mi čujemo samo jedan pljesak. Međutim kod obrade tog zvuka na Audacityju mogu se detektirati oba zvuka, i pljesak rukama i reflektirani val pljeska. Nakon što se maksimum uveća nekoliko puta označi se dio segmenta koji predstavlja prvi val i reproducira se. Čut će se pljesak. Isto to se ponovi za drugi val i ponovno se čuje pljesak. To je dokaz da je drugi val zaista reflektirani val pljeska. Nakon što je dokazano da val pljeska prelazi put od mikrofona do kraja cijevi te se tu reflektira i vraća natrag do mikrofona, može se izračunati kojom brzinom se taj val širio. Za računanje brzine tog vala koristit će se osnovna formula za brzinu. Ovaj pokus nebi bio moguć bez Audacityja, jer je jedna od nepoznanica u formuli vrijeme koje je potrebno da val prijeđe cijev i vrati se natrag do mikrofona. Vrijeme se može očitati sa uvećanog segmenta zvučnog zapisa. To se radi na način da se označi maksimum prvog vala i

maksimum drugog vala kao na slici br.x te se očita vrijeme na alatnoj traci *Izbor*. Na slici 40 vidi se alatna traka *Izbor* s koje se očita vrijeme na način da se od kraja izbora oduzme početak izbora:

$$t = t_2 - t_1$$

$$t = 3.430 \text{ s} - 3.419 \text{ s}$$

$$t = 0,011 \text{ s}$$



Slika 40. Audacityjeva alatna traka *Izbor* – prikazuje vremenski razmak između pljeska i pljeska reflektiranog vala

Zadnja nepoznanica koju treba izmjeriti je put koji je val prešao. To je dužina cijevi pomnožena s dva jer je val prvo prešao put od mikrofona do kraja cijevi pa se reflektirao i prešao put od kraja cijevi natrag do mikrofona. Dužina cijevi izmjeri se metrom. Dužina cijevi korištena u ovom pokusu je 1,9 m. To znači da je put jednak:

$$s = 2 \cdot 1,9 \text{ m}$$

$$s = 3,8 \text{ m}$$

Sada se ovi podaci mogu uvrstiti u formulu za brzinu:

$$v = \frac{s}{t}$$

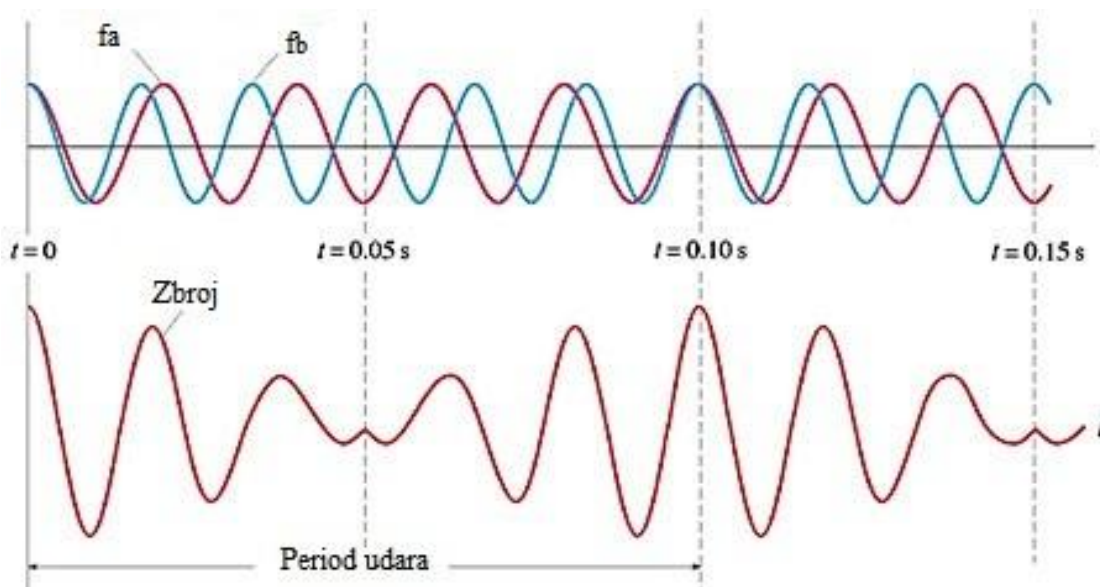
$$v = \frac{3,8 \text{ m}}{0,011 \text{ s}}$$

$$v = 345,45 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Pomoću ovog pokusa dobivena je brzina zvuka u zraku od 345,45 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. To je vrlo bliska vrijednost brzini zvuka u zraku pri sobnoj temperaturi koja je navedena u tablici 2 i koja iznosi 346,1 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Ovim pokusom vrlo se precizno može izračunati brzina zvuka u zraku i olakšava učenicima predodžbu o stvarnoj brzini zvuka. Preciznost mjerenja može se povećati preciznijim mjerenjem dužine cijevi.

8.3. Pokus 3 : Udari

Udari su pojava kada principom superpozicije dva zvučna vala s istim amplitudama i malom razlikom u frekvencijama nastane novi rezultatni zvučni val s novom frekvencijom i amplitudom.



Slika 41. Prikaz kako superpozicijom dva vala nastaje rezultatni val
Izvor: <http://faculty.wcas.northwestern.edu/~infocom/Ideas/lightsound.html>

Na slici 41 na gornjem grafu nalaze se dva zvučna sinusoidalna vala. Amplitude su im jednake, a frekvencije se razlikuju za neki maleni iznos. Pomoću principa superpozicije pomoci ta dva vala se zbrajaju u svakom trenutku. Ako su ta dva vala u fazi, zbroj je jednak dvostrukoj amplitudi kao što je to u trenutku $t=0,10s$. Pošto valovi nemaju jednake frekvencije oni neće biti stalno u fazi. Ako su ta dva vala u protufazi zbroj je jednak nuli kao što je to u trenutku $t=0,05s$. Konačno dobije se rezultatni val kao na grafu ispod. Taj val izgleda kao zasebni sinusoidalni val s varirajućom amplitudom koja ide od maksimuma do nule i natrag. Zbog takve varirajuće amplitude uho čuje niz zvučnih maksimuma ili udara. Frekvencija kojom taj val titra naziva se frekvencija udara. Frekvencija udara jednaka je :

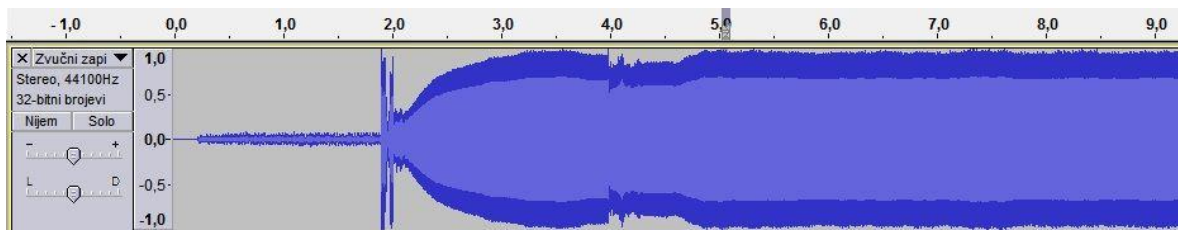
$$f_u = f_a - f_b$$

Najčešća demonstracija udara u počuvanju je pomoću glazbenih viljuška. Na jednu od viljuška stavi se gumica te joj se time malo promijeni frekvencija. Kada se viljuške batićem istovremeno udare čuju se udari. No učenici nemaju uvid u njihove frekvencije. Pomoću Audacityja učenici bi mogli samostalno izmjeriti frekvencije te doći do formule za frekvenciju udara. Na taj način mogli bi sami otkriti razlog nastanka udara ili dokazati otprije poznatu teoriju, ovisno o tome kada bi se pokus izvodio. Za pokus su potrebni sljedeći instrumenti i alati: računalo s instaliranim programom Audacity, mikrofonom, dvije glazbene viljuške, gumica i batić.



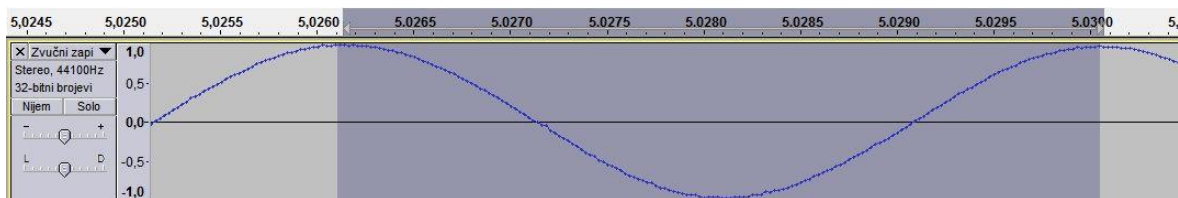
Slika 42. Glazbene viljuške i batić

Prvo treba snimiti na računalo u programu Audacity zvuk viljuške bez gumice. Viljuška se udari batićem te se mikrofonom snimi njen zvuk. Zvučni zapis od prve viljuške izgleda kao na slici 43.



Slika 43. Zvučni zapis zvuka viljuške bez gumice

Kako bi se izračunala frekvencija te viljuške prvo treba očitati period titranja zvučnih valova. Na zvučnom zapisu odabere se mali dio segmenta te se uveća što više kako bi očitani period bio što precizniji (slika 44).



Slika 44. Uvećani dio segmenta zvučnog zapisa viljuške bez gumice

Označi se period. Najlakše je označiti period od jednog brijega do dugog. Zapiše se vrijeme kraja izbora i početka izbora te se veličine oduzmu. Ovaj postupak treba ponoviti za nekoliko uzastopnih brijegova kako bi očitavanje perioda bilo što bliže realnom iznosu. U ovom slučaju period je bio:

$$t_2 = 5,03005 \text{ s}$$

$$t_1 = 5,02610 \text{ s}$$

$$T = t_2 - t_1$$

$$T = 5,02610 \text{ s} - 5,03005 \text{ s}$$

$$T = 0,00395 \text{ s}$$

Za računanje frekvencije koristi se formula :

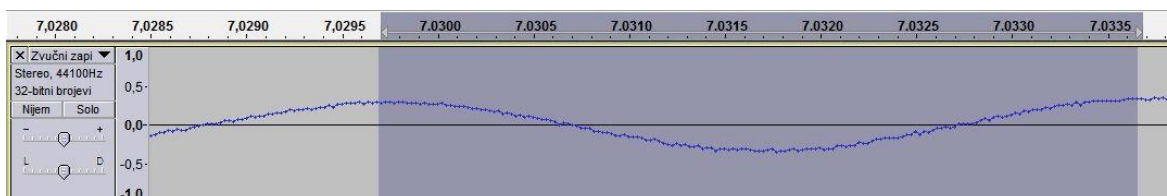
$$f = \frac{1}{T}$$

Frekvencija ove viljuške je stoga:

$$f = \frac{1}{0,00395 \text{ s}}$$

$$f = 253,16 \text{ Hz}$$

Cijeli ovaj postupak se ponavlja za viljušku na koju se stavi gumica. Ponovno se traži period na uvećanom dijelu segmenta koji izgleda kao na slici 45.



Slika 45. Uvećani dio segmenta zvučnog zapisa viljuške s gumicom

U ovom slučaju period je bio:

$$t_2 = 7,03368 \text{ s}$$

$$t_1 = 7,02969 \text{ s}$$

$$T = t_2 - t_1$$

$$T = 7,03368 \text{ s} - 7,02969 \text{ s}$$

$$T = 0,00399 \text{ s}$$

Frekvencija ove viljuške stoga je:

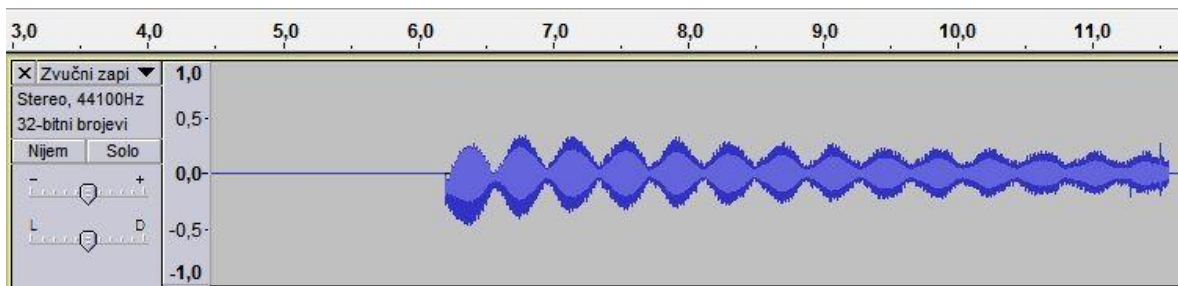
$$f = \frac{1}{0,00399\text{s}}$$

$$f = 250,63 \text{ Hz}$$

Razlika u frekvencijama ove dvije viljuške je:

$$f_1 - f_2 = 253,16 \text{ Hz} - 250,63 \text{ Hz} = 2,52 \text{ Hz} \sim 2,5 \text{ Hz}$$

Nakon što su izračunate frekvencije dviju viljuški zasebno, treba izračunati frekvenciju udara. Sada se na računalo snimi zvuk od viljuški koje su batićem udarene u isto vrijeme. Zvučni zapis od njihovog zvuka izgleda kao na slici 46.



Slika 46. Zvučni zapis udara – obje viljuške udarene istovremeno

Za računanje frekvencije ponovno se izmjeri period. Uveća se dio segmenta koji obuhvaća dva brijega te se očitaju vrijeme kraja izbora i vrijeme početka izbora. U ovom slučaju period je veći nego za viljuške zasebno pa se period može očitati s alatne trake *Izbor*:

$$t_2 = 9,882 \text{ s}$$

$$t_1 = 9,477 \text{ s}$$

$$T = t_2 - t_1$$

$$T = 9,882 \text{ s} - 9,477 \text{ s}$$

$$T = 0,405 \text{ s}$$

Frekvencija udara je stoga:

$$f_u = \frac{1}{0,405 \text{ s}}$$

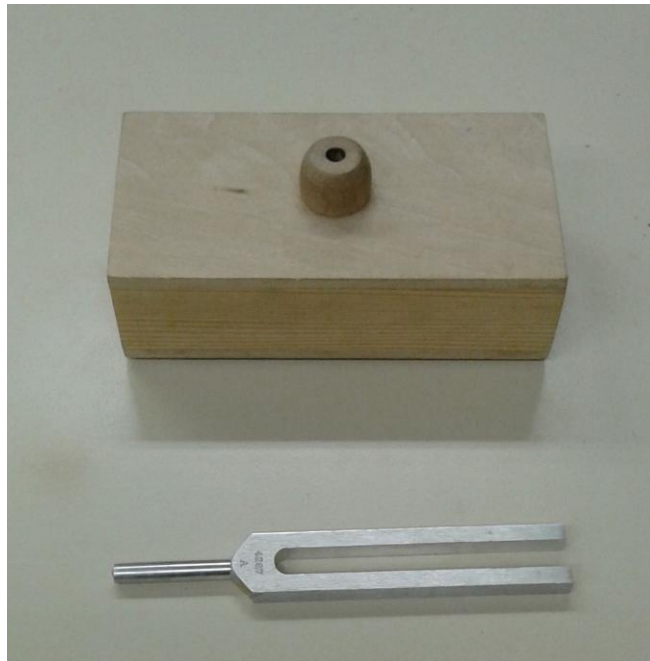
$$f_u = 2,47 \text{ Hz} \sim 2,5 \text{ Hz}$$

Ako se uspoređi razlika frekvencija prve dvije viljuške i frekvencija viljuški kada se udare zajedno vidi se da je to isti broj. Ovaj pokus može se izvoditi prije teorije kako bi učenici samostalno došli do formule za frekvenciju udara ili se može izvoditi nakon teorije kao pokus kojim se dokazuje ta formula. Pozitivan učinak ovog pokusa je i što se grafički zaista vidi primjena principa superpozicije valova na grafu snimljenih udara.

8.4. Pokus 4 : Rezonancija

Tijelo koje oscilira zove se oscilator. Sa jednog oscilatora na drugi može se prenositi energija osciliranja. Prijenos energije je najveći kada su frekvencije osciliranja oba oscilatora međusobno jednake. Ta pojava naziva se rezonancija. Pri rezonanciji prenosi se energija osciliranja s jednog oscilatora na drugi. To uzrokuje da oscilator na koji se prenosi energija počne oscilirati istom frekvencijom kao i prvi oscilator što za posljedicu ima povećanje amplitude osciliranja. Rezonancija se koristi u akustici za pojačavanje zvuka.

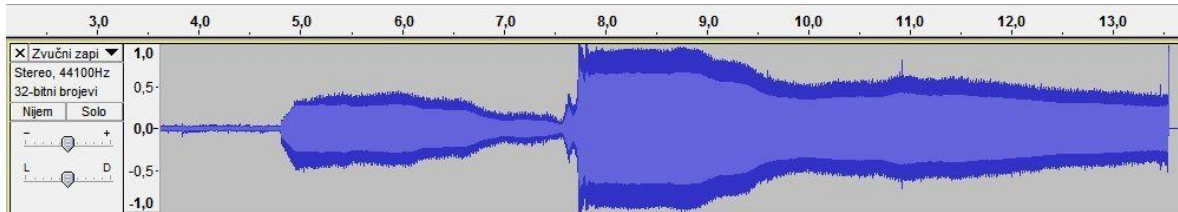
Kao izvor zvučnih oscilacija, za izvođenje pokusa često se koristi glazbena viljuška. Za pokus kojim će se prikazati frekvencija i amplituda oba oscilatora potrebni su sljedeći instrumenti i alati: računalo s instaliranim programom Audacity, mikروفon, glazbena viljuška, postolje za glazbenu viljušku i batić.



Slika 47. Glazbena viljuška i njeno postolje

Pomoću mikrofona treba snimiti sljedeće. Viljuška izvađena iz postolja, koja se drži u ruci, udari se batićem te ona počne oscilirati nekom stalnom frekvencijom. Zvuk koji se čuje veoma je slab ili nikakav. Nakon nekog vremena viljuška se postavi u svoje postolje, koje je s jedne strane otvoreno, te se primjetno pojača zvuk. Zvučni zapis ovog pokusa

nalazi se na slici 48. Prvi dio zvučnog zapisa, od otprilike pete do sedme i pol sekunde, predstavlja zvuk glazbene viljuške dok se nalazi izvan postolja. Nagli skok amplitude predstavlja postavljanje viljuške u postolje.



Slika 48. Zvučni zapis glazbene viljuške izvan postolja i u postolju

Kako bi se provjerilo jesu li viljuška i postolje u rezonanciji treba se analizirati njihov zvučni zapis. Očigledno je sa slike 48 da se amplituda osciliranja povećala čim se viljuška stavila u postolje. No kako bi se provjerilo jesu li i frekvencije jednake treba izračunati frekvenciju na početku zvučnog zapisa i nakon povećanja amplitude. Ako su frekvencije jednake viljuška i postolje su u rezonanciji.

Frekvenciju viljuške prije postavljanja u postolje izračuna se pomoću perioda zvučnog vala, ali onog s manjom amplitudom. Označi se dio segmenta i poveća do što preciznijeg očitavanja perioda. Frekvencija se računa pomoću formule: $f = \frac{1}{T}$.

$$T = 5,35640 \text{ s} - 5,35405 \text{ s}$$

$$T = 0,00235 \text{ s}$$

$$f_i = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,00235 \text{ s}} = 425,5 \text{ Hz}$$

Frekvencija postolja izračuna se pomoću perioda zvučnog vala, ali onog s većom amplitudom. Označi se dio segmenta i poveća do što preciznijeg očitavanja perioda.

Frekvencija se računa pomoću formule: $f = \frac{1}{T}$.

$$T = 8,42220 \text{ s} - 8,41985 \text{ s}$$

$$T = 0,00235 \text{ s}$$

$$f_i = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,00235 \text{ s}} = 425,5 \text{ Hz}$$

Frekvencije su iste te postoji povećanje amplitude što upućuje da su viljuška i postolje u rezonanciji. Ovim pokusom to se dokazalo.

8.5. Pokus 5 : Dopplerov efekt

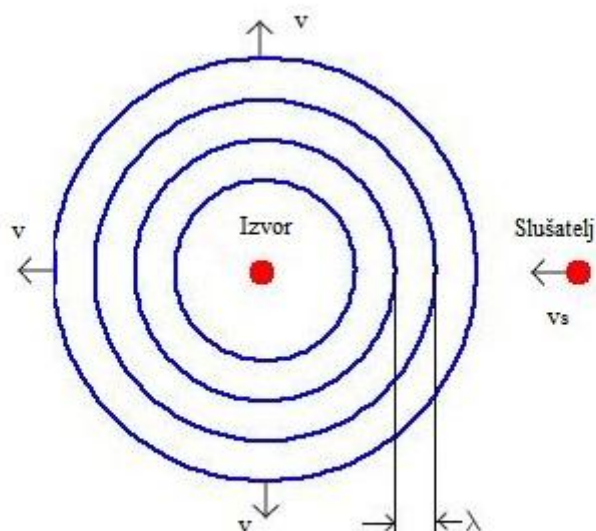
Dopplerov efekt je pojava kada se izvor zvuka i slušatelj gibaju relativno jedan naspram drugog i relativno u odnosu prema sredstvu kroz koji se zvuk širi, što uzrokuje da se frekvencija zvuka koju čuje slušatelj razlikuje od frekvencije zvuka izvora. Ovaj fenomen prvi puta opisao je Christian Doppler još u 19.st. te je po njemu dobio i naziv. Za analizu ovog efekta pročava se odnos između frekvencije zvuka izvora i frekvencije koju čuje slušatelj te između brzine izvora i slušatelja. Zbog jednostavnosti pretpostavka je da se izvor i slušatelj kreću po istom pravcu. Oznaka za brzinu kojom se giba izvor je v_i , a oznaka za brzinu slušatelja je v_s . Brzina zvuka kroz zrak je v i uvijek je pozitivnog predznaka. Za pozitivan smjer gibanja uzima se smjer od slušatelja prema izvoru.

Postoje dva osnovna slučaja:

1.) Izvor miruje, a slušatelj se giba

Neka izvor koji miruje emitira valove frekvencije $f_i = \frac{v}{\lambda}$ (slika 49), a slušatelj koji se giba brzinom v_s registrira frekvenciju f_s . Ako se slušatelj približava izvoru, relativna brzina vala s obzirom na slušatelja iznosi $v' = v + v_s$. Ako se slušatelj udaljava od izvora, relativna brzina vala s obzirom na slušatelja iznosi $v' = v - v_s$. Zato je frekvencija koju slušatelj registrira:

$$f_s = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v \pm v_s}{\lambda} = \frac{v \pm v_s}{v} \cdot f_i$$



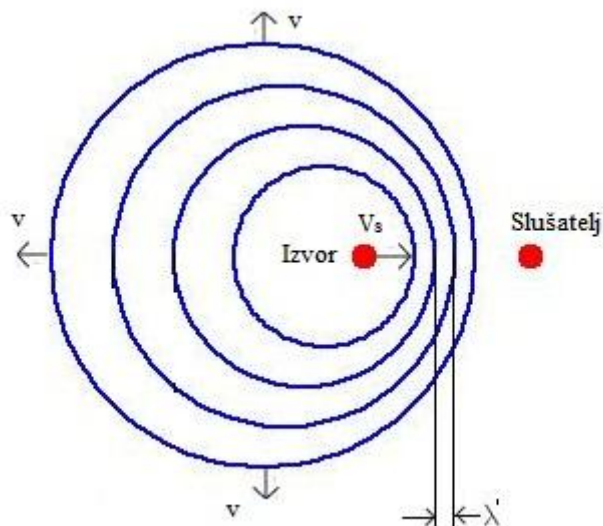
Slika 49. Izvor miruje, a slušatelj se giba
 Izvor : <http://ibphysicsstuff.wikidot.com/doppler-effect>

Predznak brzine slušatelja ovisi o tome kako se slušatelj giba u odnosu na dogovoreni pozitivni smjer gibanja koji je od slušatelja prema izvoru.

2.) *Izvor se giba, a slušatelj miruje*

Kad se izvor giba a slušatelj miruje (slika 50) valne plohe nisu više koncentrične kružnice. Zato je frekvencija koju slušatelj registrira različita od one koju emitira izvor. Iz slike br.x vidi se da se valna duljina u smjeru gibanja izvora skрати za pomak izvora u jednom periodu.

$$\lambda' = \lambda - v_i T = \frac{v}{f_i} - \frac{v_i}{f_i} = \frac{v - v_i}{f_i}$$



Slika 50. Izvor se giba, a slušatelj miruje
 Izvor : <http://ibphysicsstuff.wikidot.com/doppler-effect>

Pošto je $\lambda' = \frac{v}{f_s}$, frekvencija koju registrira slušatelj je:

$$f_s = \frac{v}{v - v_i} \cdot f_i$$

U slučaju udaljavanja umjesto razlike brzina u nazivnik se uvrštava njihov zbroj jer predznak brzine izvora ovisi o tome kako se izvor giba u odnosu na dogovoreni pozitivni smjer gibanja koji je od slušatelja prema izvoru.

Kada se izvor približava, slušatelj registrira višu, a kada se izvor udaljava nižu frekvenciju.

Ako se gibaju i izvor i slušatelj povezujemo ova dva slučaja u jedan. To se može iskazati jednom formulom:

$$f_s = \frac{v \pm v_s}{v \pm v_i} \cdot f_i$$

Kroz sljedeća dva pokusa testira se teorija koja je navedena. Za pokuse su potrebni sljedeći instrumenti i alati: računalo s instaliranim programom Audacity, mikروفon i izvor zvuka. U ovim pokusima kao izvor zvuka korištena je glazbena viljuška koja se udara batićem, a mikروفon služi kao slušatelj.

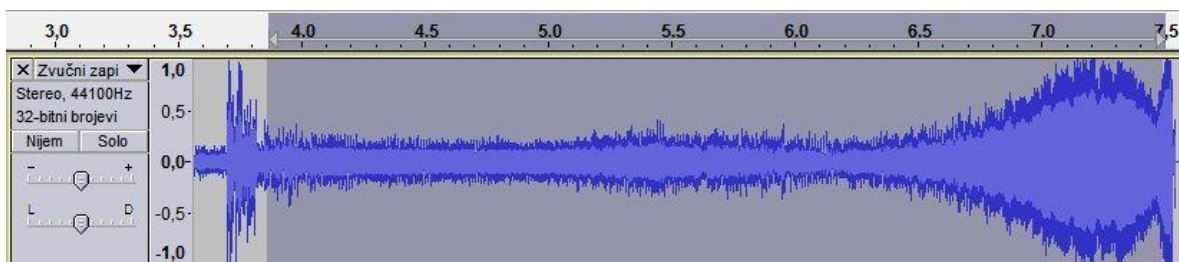
U prvom pokusu testira se slučaj kada slušatelj miruje, a izvor se giba prema slušatelju. Pokus je vrlo jednostavan za izvesti. Mikrofonom treba snimiti zvuk viljuške, ali na način

da se viljuška približava mikrofону nekom stalnom brzinom. Zvučni zapis izgleda kao na slici 51. Prvi skok amplitude predstavlja udarac batićem po glazbenoj viljušci. Nakon toga viljuška se počne približavati mikrofону sve do otprilike 7,5 s. Snimanje treba prekinuti čim viljuška dođe do mikrofona. Brzina viljuške može se izračunati pomoću formule za brzinu $v = \frac{s}{t}$. Prvotna udaljenost viljuške i mikrofona predstavlja put koji je viljuška prešla, a vrijeme se očita na zvučnom zapisu na način da se označi dio kad je viljuška krenula i kad je stala te se očita iznos na alatnoj traci *Izbor*. U ovom pokusu dobivene su sljedeće vrijednosti:

$$s = 99,5 \text{ cm} = 0,995 \text{ m}$$

$$t = 3,634 \text{ s}$$

$$v_i = \frac{s}{t} = \frac{0,995 \text{ m}}{3,634 \text{ s}} = 0,274 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



Slika 51. Izvor zvuka približava se slušatelju

Pošto koristimo viljušku koju smo koristili u prethodnom pokusu kod *Udara* nema potrebe za ponovnim računanjem njene frekvencije. Frekvencija viljuške (bez gumice) iznosi:

$$f_i = 253,16 \text{ Hz}$$

Na kraju sve vrijednosti uvrstimo u formulu za računanje frekvencije koju čuje mikrofón:

$$f_s = \frac{v}{v - v_i} \cdot f_i$$

$$f_s = \frac{346 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{346 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0,274 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot 253,16 \text{ Hz}$$

$$f_s = 253,36 \text{ Hz}$$

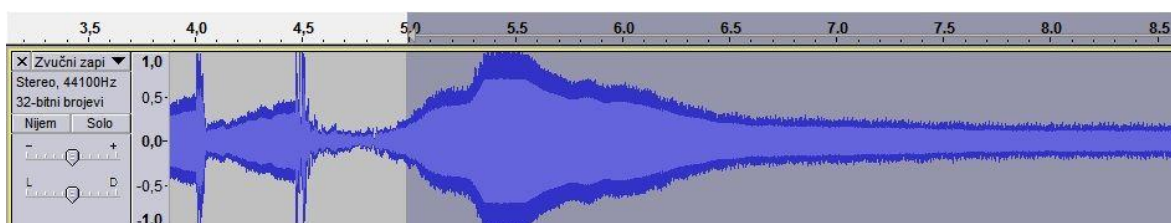
Vrijednost frekvencije slušatelja koja je dobivena veća je od frekvencije izvora za 0,2 Hz što potvrđuje teoriju.

U drugom pokusu testira se slučaj kada slušatelj miruje, a izvor se giba od slušatelja. Pokus je vrlo jednostavan za izvesti. Mikrofonom treba snimiti zvuk viljuške, ali na način da se viljuška udaljava od mikrofona nekom stalnom brzinom. Zvučni zapis izgleda kao na slici 52. Prvi dva skoka amplitude predstavljaju udarce batićem po glazbenoj viljušci. Nakon toga viljuška se počne udaljavati od mikrofona između pete i osme sekunde. Snimanje treba prekinuti čim viljuška dođe do odabranog mjesta. Brzina viljuške može se izračunati pomoću formule za brzinu $v = \frac{s}{t}$. Udaljenost viljuške i mikrofona na kraju snimanja predstavlja put koji je viljuška prešla, a vrijeme se očita na zvučnom zapisu na način da se označi dio kad je viljuška krenula i kad je stala te se očita iznos na alatnoj traci *Izbor*. U ovom pokusu dobivene su sljedeće vrijednosti:

$$s = 99,5 \text{ cm} = 0,995 \text{ m}$$

$$t = 3,802 \text{ s}$$

$$v_i = \frac{s}{t} = \frac{0,995 \text{ m}}{3,802 \text{ s}} = 0,262 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



Slika 52. Izvor zvuka udaljava se od slušatelja

Pošto je korištena viljuška kao u pokusu prije, njena frekvencija je poznata i nema potrebe za ponovnim računanjem. Njena frekvencija iznosi:

$$f_i = 253,16 \text{ Hz}$$

Na kraju pokusa izračunate vrijednosti uvrstimo u formulu za računanje frekvencije koju čuje mikrofon:

$$f_s = \frac{v}{v + v_i} \cdot f_i$$

$$f_s = \frac{346 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{346 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 0,262 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot 253,16 \text{ Hz}$$

$$f_s = 252,96 \text{ Hz}$$

Vrijednost frekvencije slušatelja koja je dobivena manja je od frekvencije izvora za 0,2 Hz što potvrđuje teoriju.

Razlika u frekvencijama u prvom i drugom pokusu između izvora zvuka i slušatelja nije velika, međutim treba uzeti u obzir da su pokusi rađeni s vrlo malim brzinama gibanja i s malim frekvencijama izvora. U stvarnosti gdje su te vrijednosti puno veće veća je i razlika u frekvencijama. U svakom slučaju pokusi potvrđuju teoriju.

9. Zaključak

Uloga tehnologije i informatike postaje sve važniji dio svakodnevnog života i u poslovnom i u privatnom planu. U današnje vrijeme većina učenika koristi računalo i prije nego uopće krene u školu. Zbog toga su potrebne i promjene u pristupu poučavanja fizike.

Računalo kao dio opreme za izvođenje pokusa iz fizike učenici većinom prvi puta susreću tek na fakultetu. Danas postoji mnogo programa koji bi omogućili učenicima osnovnih i srednjih škola da prodube razumijevanje fizike. Jedan od tih programa je i Audacity pomoću kojeg bi se gradivo zvuka približilo učenicima na dubljoj razini razumijevanja zvuka kao fizikalne pojave.

U ovom diplomskom radu detaljno su opisani i analizirani pokusi koji su izvedeni uz pomoć Audacityja. U prvom dijelu rada opisane su glavne mogućnosti ovog programa koje su kasnije primjenjene na pokuse. Nijedan od ovih pokusa ne bi se mogao izvesti bez Audacityja.

Neki od pokusa već se od prije izvode u nastavi kao npr. *Udari*. Jedino što tim pokusom učenici mogu uočiti je slušanje maksimuma amplitude. Teoriju iza pokusa profesori moraju usmeno objasniti. Međutim taj pokus se pomoću Audacityja može puno bolje dočarati pa čak i navesti učenike da sami shvate kako do udara dolazi i koja je formula za računanje njegove frekvencije.

Neki od pokusa ne izvode se u nastavi i smišljeni su isključivo uz upotrebu Audacityja bez kojeg se pokus ne bi mogao izvesti. Primjer takvog pokusa je npr. *Mjerenje brzine zvuka*. U školama ne postoji nijedan instrument kojim bi se mogla snimiti refleksija zvučnog vala pomoću kojeg je izračunata brzina zvuka u zraku. No svaka škola ima računalo na koje se može besplatno instalirati Audacity te ga upotrijebiti za navedeni pokus koji bi učenicima olakšao predodžbu o stvarnoj brzini zvuka.

Jedna od glavnih prednosti izvođenja ovih pokusa je što ne zahtijeva nikakvu skupu eksperimentalnu opremu već su najbitniji računalo i mikrofonski što posjeduje većina škola.

Današnje društvo ima veliku potrebu za tehnički i informatički obrazovanim ljudima. Stoga postoji više prednosti kod upotrebe računala u nastavi fizike. Jedna od njih je povećanje zainteresiranosti učenika za gradivo fizike. Druga je poticanje učenika na rješavanje svakodnevnih problema pomoću novih tehnologija te informatičko obrazovanje. Svaka od ovih prednosti može proširiti perspektive učenika u pogledu na njihovu budućnost.

10. Literatura

Young, H. D., Freedman, R. A. Sears and Zemansky's university physics: with modern physics. 12th ed. San Francisco : Pearson education, 2008.

Oetzmann, A., Mazzoni, D. Audacity_{v2.0} manual. 6th ed. Pasadena, 2012.

Audacity (2014.), *About Audacity*,
<http://audacity.sourceforge.net/about/>, 14.12.2014.

11. Popis slika

Slika 1. Jedan val koji brzo izumire: pljesak rukama	4
Slika 2. Periodični val: zvonjenje crkvenog zvona	4
Slika 3. Osnovni dijelovi mikrofona	6
Slika 4. Val na kojem je svaka točka jedan audio uzorak	7
Slika 5. Simbol za Audacity	10
Slika 6. Sučelje Audacityja	11
Slika 7. Kontinuirani signal	12
Slika 8. Uzorkovani signal	12
Slika 9. Postavke - Parametri kvalitete zvučnog zapisa	13
Slika 10. Uvezena MP3 datoteka	16
Slika 11. Audacityjeva alatna traka <i>Za gibanje</i>	16
Slika 12. Audacityjeva alatna traka <i>Za uređaje</i>	17
Slika 13. Snimljeni zvuk od početka zvučnog zapisa i od sredine zvučnog zapisa odabranog pomoću <i>Birala</i>	18
Slika 14. Audacityjeva alatna traka <i>S pomagajima</i>	18
Slika 15. Označeni dio zvučnog zapisa	20
Slika 16. Audacityjeva alatna traka <i>Za uređivanje</i>	21
Slika 17. Zvučni zapis prije naredbe <i>Izreži</i>	21
Slika 18. Zvučni zapis nakon naredbe <i>Izreži</i>	22
Slika 19. Zvučni zapis nakon naredbe <i>Zalijepi</i> , izrezani dio premješten je na drugo mjesto u zvučnom zapisu	22
Slika 20. Označeni dio zvučnog zapisa od 1:30 do 2:00	23
Slika 21. Utišani dio zvučnog zapisa od 1:30 do 2:00	23
Slika 22. <i>Izbljedeni</i> dio zvučnog zapisa prije tišine i <i>Odblijedeni</i> dio zapisa poslije tišine	24
Slika 23. Udvostručavanje - Kopirani dio segmenta u novom zvučnom zapisu	25
Slika 24. Vrste učinaka	26
Slika 25. Metapodaci	27
Slika 26. Zvučni zapis šaputanja	31
Slika 27. Padajući izbornik <i>Prouči</i>	31
Slika 28. Analiza frekvencije za šaputanje	32
Slika 29. Zvučni zapis razgovora	32
Slika 30. Analiza frekvencije za razgovor	33
Slika 31. Zvučni zapis glasnog razgovora	33
Slika 32. Analiza frekvencije za glasan razgovor	34
Slika 33. Zvučni zapis buke	34
Slika 34. Analiza frekvencije za buku	35
Slika 35. Cijev s jednim zatvorenim krajem	37
Slika 36. Zvučni zapis pljeskanja rukama	38
Slika 37. Povećan jedan od maksimuma - prikazuje val koji brzo trne u vremenu	38
Slika 38. Zvučni zapis pljeskanja rukama na ulazu u cijev	39

Slika 39. Povećan jedan od maksimuma – prikazuje dva vala koji brzo trnu u vremenu...	39
Slika 40. Audacityjeva alatna traka Izbor – prikazuje vremenski razmak između pljeska i pljeska reflektiranog vala	40
Slika 41. Prikaz kako superpozicijom dva vala nastaje rezultatni val	41
Slika 42. Glazbene viljuške i batić.....	42
Slika 43. Zvučni zapis zvuka viljuške bez gumice	43
Slika 44. Uvećani dio segmenta zvučnog zapisa viljuške bez gumice	43
Slika 45. Uvećani dio segmenta zvučnog zapisa viljuške s gumičom.....	44
Slika 46. Zvučni zapis udara – obje viljuške udarene istovremeno.....	45
Slika 47. Glazbena viljuška i njeno postolje	46
Slika 48. Zvučni zapis glazbene viljuške izvan postolja i u postolju	47
Slika 49. Izvor miruje, a slušatelj se giba.....	49
Slika 50. Izvor se giba, a slušatelj miruje.....	50
Slika 51. Izvor zvuka približava se slušatelju	51
Slika 52. Izvor zvuka udaljava se od slušatelja	52

12. Popis tablica

Tablica 1. Tablica ovisnosti brzine širenja zvuka o temperaturi	5
Tablica 2. Brzina zvuka u različitim medijima.....	36