

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO - MATEMATIČKI FAKULTET  
FIZIČKI ODSJEK

DIPLOMSKI RAD

**FOURIEROVA ANALIZA AKUSTIČKIH  
SIGNALA U REALNOM VREMENU**

Monika Lukavečki

Mentor: doc. dr. sc. Darko Androić

Zagreb 2008.

Hvala mentoru na pomoći, savjetima, ponajviše na razumijevanju i strpljenju za „profesoricu u nastajanju“.

Hvala Ani i Ani, Zrinki, Ivi, Iveku, Ivanu, Darku, Marcu i cijeloj generaciji profesora smjera fizike i informatike bez kojih studiranje ne bi bilo zanimljivo i zabavno. Prijateljstva i znanje koje sam na fakultetu stekla, neprocjenjive su vrijednosti i bili su mi velika pomoć pri nastajanju diplomskog rada, a ujedno su i najljepše stvari koje sam na fakultetu dobila i stekla.

Hvala roditeljima na bezuvjetnoj podršci i razumijevanju jer su mi omogućili školovanje.

# SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	3
1. UVOD.....	4
2. POVIJEST AKUSTIKE .....	5
3. FIZIKALNI TEMELJI AKUSTIKE .....	8
3.1. VALNO GIBANJE.....	8
3.2. ZVUK.....	10
3.3. BRZINA ZVUKA .....	11
3.4. INTENZITET ZVUKA.....	12
3.5. BOJA ZVUKA.....	13
3.6. HARMONICI.....	14
3.7. OSTALE ZVUČNE POJAVE .....	15
4. SLUŠNA AKUSTIKA .....	21
4.1. GRAĐA UHA .....	21
4.2. SLUŠNI PROCES .....	23
5. VIZUALIZACIJA .....	26
6. FOURIEROVA ANALIZA AKUSTIČKIH SIGNALA .....	29
6.1. FOURIEROVA ANALIZA .....	31
6.2. VISUAL ANALYSER.....	34
7. PLAN NASTAVE.....	41
8. ZAKLJUČAK .....	44
9. LITERATURA.....	45

## 1. UVOD

Što je zvuk? Kako ga opisati, objasniti, nacrtati? Može li se uopće vidjeti? Ako može, kako? Što je tišina i da li je ona dio zvuka? Otkad postoji zvuk? Da li je zvuk samo ono što ljudsko uho čuje? Što uopće ljudsko uho čuje?

To su samo neka od navedenih pitanja na koja ću pokušati odgovoriti, a posebno ću se osvrnuti na vizualni zapis zvuka, odnosno kako najjednostavnije i najbolje objasniti laiku osnovne pojmove zvuka, njegovu građu, kako ga mijenjati, pojednostaviti, nadopuniti i što je najbitnije, kako ga razumjeti. U prvom poglavlju upoznat ćemo se s počecima shvaćanja zvuka i njegove primjene.

U školi smo naučili da zdrav čovjek ima pet osnovnih osjetila koja se kroz životni vijek razvijaju ovisno o okolini, uvjetima i životnoj dobi u kojoj čovjek kao individua odrasta i živi. Osjetila su početak našeg saznanja o objektivnom svijetu. Bez njih bismo bili osuđeni na nesnalaženje u prostoru i vremenu, a u mnogim slučajevima i na najtragičniji završetak. Ta osjetila su vid (oko) čija se kvaliteta smanjuje starenjem, opip ili dodir (u našoj koži), okus (na jeziku), njuh (u sluznici nosa) i na samom kraju **sluh**.

Koliko je sluh važan za naš razvoj, preživljavanje, život i shvaćanje prirode oko nas, pokazuje i činjenica da je akustika područje koje se istražuje i svakim danom sve više razvija i upotpunjuje kroz povijest, te napreduje s razvojem čovječanstva i tehnologije.

## 2. POVIJEST AKUSTIKE

Akustika, riječ grčkog podrijetla **ἀκουστικός** što znači slušni, je nauka o zvuku. Bavi se istraživanjem izvora, rasprostiranja i osjeta zvuka. Možemo ju podijeliti:

- Fizička akustika - ispituju se mehaničke pojave u procesima proizvodnje zvuka, njegovo rasprostiranje, širenje elastičnih deformacija u nekom sredstvu, efekti refleksije, loma, interferencije i ogiba.
- Fiziološka akustika - razmatraju se ti problemi vezani uz organe sluha i govora

Poznato je da se čovjek još u vrijeme stare Grčke bavio proučavanjem zvuka i zvučnih pojava. **Pitagora** (582-496. p.n.e, grčki: Πυθαγόρας) je prema predaji primijetio da udarac čekica u nakovanj proizvodi zvukove različite visine. Isto tako je uočio da kratka žica daje viši ton i kakvi omjeri duljine žica pripadaju određenim intervalima. **Arhita iz Tarenta** oko 400. godine prije Krista razrađuje teoriju harmonije ispitujući frekvenciju i razrđujući teoriju zvuka. Zapaženija su njegova razmišljanja o šumovima za koje je shvatio da proizlaze iz vibracija koje nastaju zbog prolaska tijela kroz zrak. Postavio je hipotezu da i nebeska tijela, koja se neprekidno kreću, moraju proizvoditi šumove. Međutim, ljudi te šumove ne mogu čuti jer oni nisu dani u intervalima, nego su vremenski kontinuirani. Veoma su zanimljiva njegova eksperimentalna ispitivanja pomoću kojih je objašnjavao razlike između oštih i tupih zvukova koje su uslovljene brzinom vibracija, odnosno onim što se danas naziva valnom dužinom: što je vibracija brža, to je oštiji zvuk koji iz nje proizlazi i obrnuto. Te je eksperimente radio na fruli i drugim glazbenim instrumentima te je utvrdio da i ljudski glas prati taj princip. U određenom smislu možemo ga smatrati i začetnikom intonacije.

**Vitruvius** iz 1. stoljeća prije Krista je smatrao da se zvuk širi valovima i to je uspoređivao s kružnim valovima na vodi.

Začetnik akustike je **Marin Mersenne**. Imao je veliki interes za glazbu i proveo je mnogo vremena istražujući akustiku i brzinu zvuka. 1627. godine izdaje svoje najpoznatije djelo *L'harmonie universelle* u kojem daje točan opis do tada svih postojećih instrumenata. Prvi je definirao ton i zvuk kao titranje zraka. Izmjerio je brzinu zvuka promatrajući iz daljine pucanj topa. Najprije je vidio bljesak, a tek kasnije čuo prasak. Zaključio je da je brzina svjetlosti jako velika pa ju odmah vidimo, a vrijeme koje prođe od trenutka bljeska do trenutka kad zvuk pucnja dođe do nas je brzina zvuka.

Značajne radove na području zvuka dali su također i Galileo Galilei, Christian Haygens te Isaac Newton. Tijekom 17. i 18. stoljeća i mnogi drugi su se bavili proučavanjem zvuka što je rezultiralo nastankom uređaja kao što su mehanički glazbeni automati. **Jean-Baptiste de Fourier** je matematički dokazao da su valovi osnovni element čijom se superpozicijom mogu prikazati periodička gibanja bez obzira na svoju kompliciranost.

Spomenuti treba i **Christianna Dopplera** (1803.-1853.) zaslužnog za razvoj akustike za njegova života kao i danas. Njegovo objašnjenje promjene zvuka tijela koje prolazi kraj nas dok mirujemo nazivamo Dopplerov efekt koji ću u sljedećem poglavlju detaljnije objasniti.

**Karl Rudolf Koenig** pokazuje izrazitu sklonost mehanici i velik glazbeni dar. Do svoje smrti je napravio niz instrumenata za stvaranje i generiranje zvuka. Njegov je rad uvelike pomogao razumijevanju fizikalnih pojava vezanih za zvuk kao i razvoju akustike.

U 19. stoljeću britanski fizičar **Thomas Young** je na valjak premazan čadom prislonio pisaljku koja je bila vezana za glazbenu viljušku. Kada bi proizveo

zvuk, pisaljka je bilježila titranje na valjku koju je pri tome okretao rukom. Tada je 1877. godine Charles Cross dostavio Francuskoj akademiji omotnicu s opisom postupka koje je nazvao postupak za bilježenje i reprodukciju što ih prima sluh. Nakon toga se pojavio gramofon, a ostatak događanja je manje više poznat.

### 3. FIZIKALNI TEMELJI AKUSTIKE

Prije samog uvoda u akustiku, u ovom poglavlju ću prvo objasniti valno gibanje te svojstva i zakonitosti valova da bi što bolje razumjeli osnovnu podlogu same akustike.

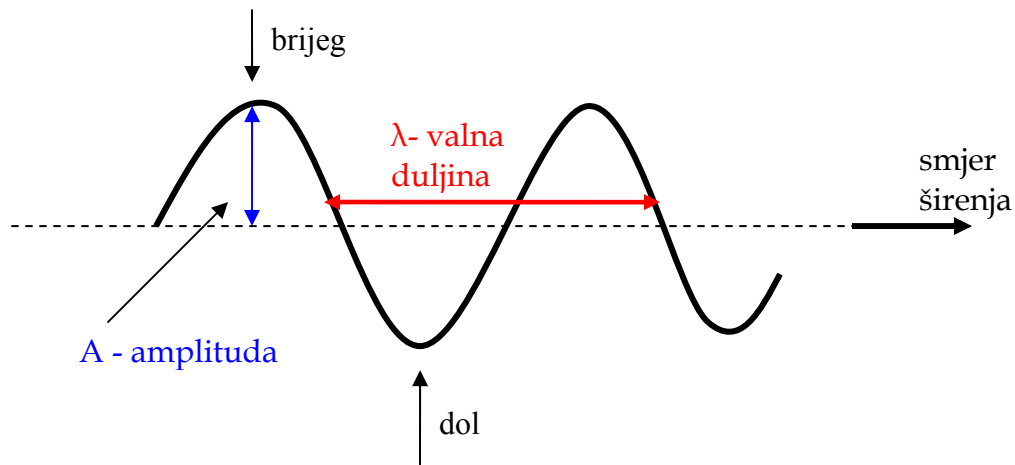
#### 3.1. VALNO GIBANJE

Pojam vala susrećemo često i u svakodnevnom životu. Valovi na površini vode su jedan oblik valnog gibanja koje je pristupačno promatranju. Val je jedan opći pojam koji se javlja u raznim oblicima i veliki broj pojava u fizici je u vezi s valnim gibanjem. **Val je poremećaj koje se širi prostorom pri čemu se obično prenosi energija.** Općenito, on se širi sredstvom koje se sastoji od povezanih oscilatora. To sredstvo nazivamo **medijem** (za valove na vodi, medij je voda jer se molekule vode ponašaju kao povezani oscilatori). Valove možemo podijeliti:

- Mehanički valovi – mogu se širiti samo kroz medij ili sredstvo i možemo ih promatrati
- Elektromagnetski valovi – njihovo važno svojstvo je da ne trebaju medij za širenje, odnosno mogu se rasprostirati i kroz vakuum. U klasičnoj fizici **vakuum** je prazan prostor bez ikakve materije ili fizikalnih svojstva.

Objasnit ću mehaničke valove jer su nam oni potrebni za uvod u svijet akustike. Val u kojem čestice titraju okomito na smjer širenja vala nazivamo **transverzalni val**.

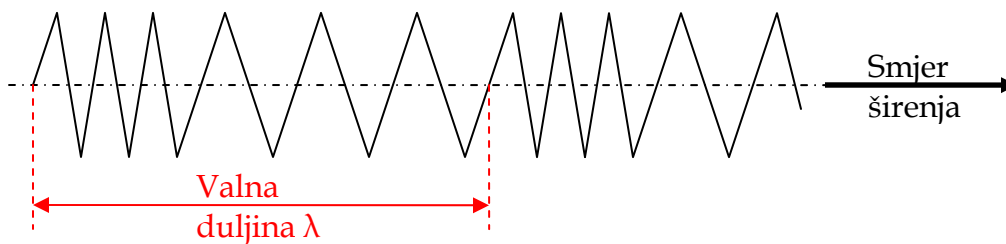




Slika 1: Transverzalni val

Kao i na svakom valu tako i na transverzalnom uočavamo valna uzvišenja koja se nazivaju **brijegovi** i valna udubljenja ili **dolovi**. Kad se čestica nalazi na vrhu brijega ili na dnu dola, u tom trenutku ona postiže najviši, odnosno najniži položaj. Udaljenost tih dvaju položaja u odnosu na smjer širenja vala nazivamo **amplituda**. Razmak između dva susjedna brijega ili dva susjedna dola nazivamo **valna duljina**. Primjer transverzalnog vala na upit učenika bili su valovi na stadionu koji nastaju podizanjem ljudi sa svojih sjedala. Primjećujemo da se valovi gibaju u jednom smjeru (nama u desnu ili lijevu stranu), a ljude možemo zamisliti kao čestice vala. Vidljivo je da se ljudi gibaju okomito na smjer širenja vala. U skupinu transverzalnih valova spadaju i elektromagnetski valovi.

**Longitudinalni val** je val u kojem se čestice gibaju u smjeru širenja vala. On se također sastoji od brijegova i dolova. Brijegovi su zgušnjeni dijelovi vala, a dolovi razrjeđeni djelovi vala. Najjednostavniji primjer za longitudinalni val je opruga.



Slika 2: Longitudinalni val

U skupinu longitudinalnih valova spada i zvuk.

### 3.2. ZVUK

**Zvuk** je pojava koju primjećujemo osjetilom sluha. On se širi zrakom ili nekim drugim sredstvom kao **zvučni val**. Između susjednih čestica djeluje sila slična elastičnoj pa kažemo da je zrak elastični medij. Zvuk je određen, kao i ostali valovi, dvjema fizikalnim veličinama:

- **Valnom duljinom**. – to je udaljenost nakon koje se oblik vala ponavlja i označava se grčkim slovom lambda ( $\lambda$ ). Ona je i razmak između dva susjedna najveća zgušnjenja, kao i između dva susjedna razrjeđenja medija kroz koje se val širi.
- **Frekvencijom** – fizikalna veličina kojom se izražava koliko se puta ponovio neki periodički događaj u određenom vremenskom intervalu, a mjerna jedinica je Hz (Herc).

Normalno ljudsko uho čuje zvukove u frekvenciji od 16 Hz do 20 000 Hz. Sve zvukove frekvencije ispod 16 Hz nazivamo **infrazvukovima** ili podzvukovima, a

zvukove frekvencije više od 20.000 Hz nazivamo **ultrazvukovima** ili nadzvukovima koji se koriste u tehnici i medicini.

U osnovi zvukove možemo podijeliti na dvije skupine: **šumove** i **tonove**.

**Šum** je zvuk koji nastaje nepravilnim titranjem zvučnog izvora pri čemu se frekvencija stalno mijenja kao i amplituda. Njegov spektar je kontinuiran što znači da ispunjava jedno cijelo frekvencijsko područje.

**Ton** nastaje pravilnim titranjem zvučnog izvora i frekvencija je stalna. Ton je jednostavno sinusoidno titranje.

### 3.3. BRZINA ZVUKA

Tijekom nekog vremena, val se širi medijem. Veličina koja povezuje valnu duljinu  $\lambda$  i frekvenciju  $f$  je brzina  $v$ . Jedinica za brzinu je m/s (metar u sekundi).

$$v = f \cdot \lambda$$

Brzina zvučnih valova u zraku ovisi o njegovoj **gustoći**  $\rho$ , **atmosferskom tlaku**  $p$  i **konstanti**  $\gamma$  koja daje odnos specifične topline zraka uz konstantan tlak prema onoj uz konstantan volumen <sup>1</sup>.  $\gamma$  se pojavljuje jer se toplina koja nastaje za vrijeme širenja zvuka ne može zbog brzine procesa odvesti i ona za zrak iznosi 1.4. Brzina zvuka u zraku može se izračunati prema formuli<sup>2</sup>:

$$c = \sqrt{\frac{p \cdot \gamma}{\rho}}$$

Brzina zvuka ovisi i o **temperaturi**  $T$ . Jedinica za temperaturu je °C (Celsius), stoga brzina zvuka iznosi:

---

<sup>1</sup> Tihomir Jelakovic; *Zvuk sluh, arhitektonska akustika*, str. 4

<sup>2</sup> Tihomir Jelakovic; *Zvuk sluh, arhitektonska akustika*, str. 4

$$c = (331,4 + 0,6T)(\text{m/s}).$$

Pri sobnoj temperaturi od 20 °C, brzina zvuka iznosi 343 m/s, a zimi pri temperaturi od -20 °C je 319 m/s. Brzina također ovisi o postotku vlage u zraku.

### 3.4. INTENZITET ZVUKA

Pod intenzitetom zvuka mislimo na odnos srednje snage koja se prenosi zvučnim valom i površine kroz koju taj val prolazi. **On je brojčano jednak srednjoj snazi zvučnog vala koji prolazi kroz jedinicu površine.** Intenzitet ću označavati kao  $I$ , snagu kao  $P$ , a površinu sa  $S$  i tada vrijedi:

$$I = \frac{P}{S}$$

**Intenzitet još možemo opisati kao energiju koju val prenosi u određenom trenutku po jedinici površine.** Jedinica je  $\text{W}/\text{m}^2$  (watt po metru kvadratnom).

Po Weber-Fechnerovom zakonu, čovjek prima slušne podražaje po logaritamskom zakonu prema kojem uho osjeća gradaciju (**stupnjevanje** ili **gradacija**, lat. *gradatio* = vrhunac, postupno pojačavanje ili slabljenje) jačine zvuka kao logaritam inteziteta. Zato je uvedena logaritamska skala pa se zahtjeva druga jedinica kao i naziv veličine. **Bel** (znak: B) je mjerna jedinica kojom se izražava logaritam omjera istovrsnih veličina. Naziv jedinice je po američkom fizičaru **Alexander Graham Bellu** i ona se koristi u telekomunikacijama, elektrotehnici i akustici za izražavanje slabljenja (gušenja) i pojačanja (dobitka) signala te za razinu signala u odnosu na neku vrijednost. U praksi se redovito koristi 10 puta manja jedinica **decibel** (znak: dB). Kako izračunati?

Najmanji intezitet zvuka koje ljudsko uho čuje iznosi:

$$I_o = 1 \cdot 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Razina inteziteta koja odgovara intezitetu zvuka iznosi 0 dB. Razina inteziteta koja izraživa bol iznosi 120 dB. Belom se izražava dekadski logaritam omjera dviju istovrsnih veličina.

$$1 \text{ dB} = \frac{1}{10} \text{ B}$$

S obzirom da se zvuk manifestira kao niz promjena tlaka, vrijedi također:

$$I(\text{dB}) = 10 \lg \frac{I}{I_0} = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \lg \frac{p}{p_0}$$

### 3.5. BOJA ZVUKA

Boja zvuka je pojam koji opisuje sastav zvuka prema zastupljenosti i glasnoći različitih frekvencija i njome razlikujemo ljudske glasove. Za primjer i bolje objašnjenje poslužit ću se gitarom i klavirom. Oba instrumenta mogu proizvesti zvuk koji će odgovarati jednakoj jačini (intenzitetu) i visini i frekvenciji zvuka, a primjetit ćemo da isti ton različito zvuči. Tu razliku nazivamo **bojom** zvuka. Samu boju zvuka čine harmoničke komponente. Najniži harmonik će određivati visinu zvuka, a viši harmonici koji zajedno s osnovnim tvore zvuk će odrediti boju zvuka, odnosno razliku između boje zvuka gitare i klavira koje smo uspoređivali. Sama mjerenja koja dokazuju razliku u boji zvuka ću opisati kasnije u radu.

### 3.6. HARMONICI

Proučavanja harmonijskog gibanja nisu se mogla vršiti prije otkrića ciklometrijskih funkcija - ili arkus funkcija koje su inverzne funkcije trigonometrijskih funkcija. Harmonijsko titranje je karakteristično za gibanje pod utjecajem sile koja je proporcionalna pomaku od položaja ravnoteže i nazivamo ga harmonijski oscilator.

Periodičko gibanje gdje je položaj čestice dan s periodičkom ovisnošću o vremenu, nije nužno sinusoidno gibanje. Takvo gibanje se matematički može opisati pomoću zbroja beskonačno mnogo sinusoidnih funkcija različitih frekvencija, odnosno pomoću beskonačno mnogo običnih harmonijskih oscilatora. Grana matematike koja se bavi analiziranjem takvih općenitih periodičkih pojava naziva se Fourierova (ili harmonijska) analiza. U fizici se s takvim pojavama susrećemo vrlo često - gibanje tijela na opruzi, matematičko i fizičko njihalo, kruženje tijela po kružnici...

**Rezonancija** je pojava kada na neki sustav, koji se može gibati svojom frekvencijom, djeluje sila čija je frekvencija jednaka vlastitoj frekvenciji sustava. Treba razlikovati harmonijsko gibanje od periodičnog. Prvo gibanje je opisano sinusoidnom ovisnošću. Karakteristika drugog gibanja je periodičnost i takvo gibanje možemo napisati kao šumu beskonačno mnogo sinusoidnih funkcija. Frekvencija pojedine sinusoide je višekratnik osnovne frekvencije. Matematički zapisano:

$$a_1 \sin 2\pi f_1 t + a_2 \sin 2\pi f_2 t + a_3 \sin 2\pi f_3 t + \dots$$

Pojedini  $f$  u gornjoj formuli se naziva **harmonik**.

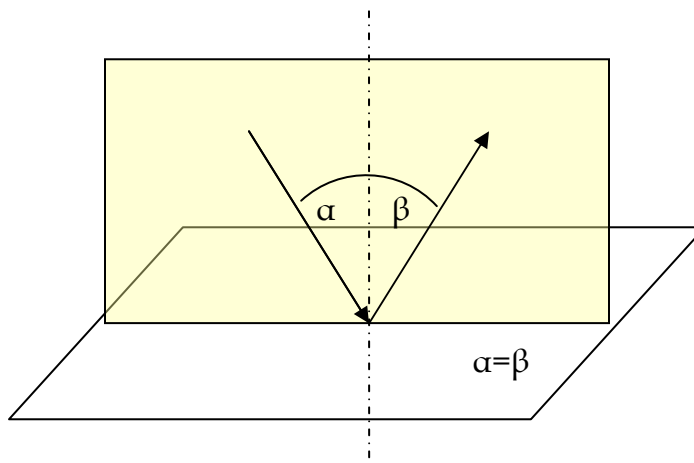
$$f_1=1f_0, f_2=2f_0, f_3=3f_0 \dots$$

Harmonik je sinusoidni doprinos određene frekvencije ukupnom periodičnom gibanju. Pri tom je frekvencija pojedinog harmonika višekratnik frekvencije  $f_0$  koju onda zbog toga nazivamo još i fundamentalna frekvencija periodičkog gibanja.

### 3.7. OSTALE ZVUČNE POJAVE

#### REFLEKSIJA ZVUKA

Širenje samog zvuka možemo prikazati zvučnim zrakama koje su zamišljeni pravci okomiti na čelo valova koji izlaze iz izvora zvuka. Mora biti ispunjen uvjet da je duljina zvučnog vala mnogo manja od dimenzija plohe od koje se val reflektira<sup>3</sup>. Kod refleksije zvuka primjenjujemo **zakon refleksije svjetlosti**: kut upadne zrake jednak je kutu odbijene zrake.

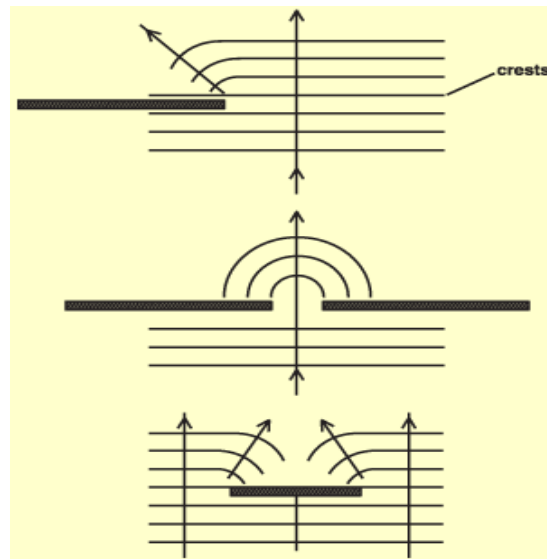


Slika 3: Refleksija zvučne zrake

<sup>3</sup> [http://www.fer.hr/\\_download/repository/U2\\_Pojave\\_uz\\_sirenje\\_zvuka.pdf](http://www.fer.hr/_download/repository/U2_Pojave_uz_sirenje_zvuka.pdf)

## DIFRAKCIJA

Kao što smo već naučili, zakoni refleksije vrijede samo onda kad su valovi mnogo kraći od dimenzija zapreke na kojoj se reflektiraju. Zvučni valovi zaobilaze prepreke i pri tome mijenjaju smjer širenja. Što je veći odnos valne duljine prema dimenzijama prepreke, to će difrakcija biti veća.



Slika 4: Difrakcija zvučnog vala<sup>4</sup>

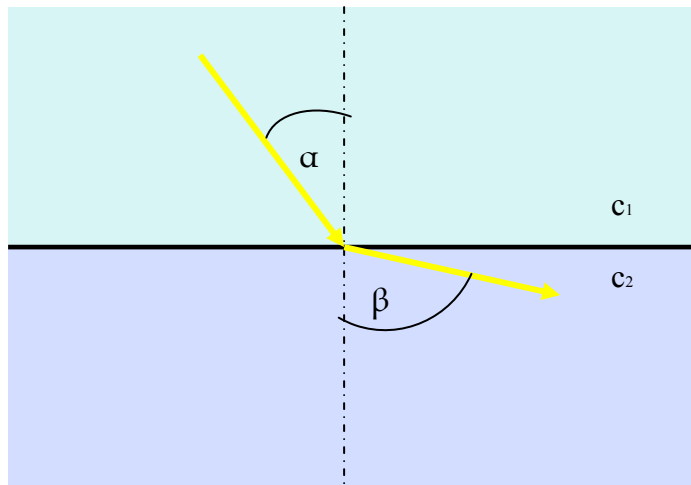
Ako je zapreka jako mala u odnosu na valnu duljinu zvučnog vala, ona ne utječe na širenje zvučnog vala.

<sup>4</sup> [http://www.bbc.co.uk/scotland/education/bitesize/higher/physics/radiation/waves1\\_rev.shtml](http://www.bbc.co.uk/scotland/education/bitesize/higher/physics/radiation/waves1_rev.shtml)



## REFRAKCIJA

Kao i svjetlosne, i zvučne zrake se lome pri prijelazu iz jednog sredstva u drugo. Veličina promjene smjera ili refrakcije ovisi o odnosu brzina širenja vala. Točnije, pri prijelazu zvuka iz zraka u neku krutu tvar, zvučne zrake izlaze gotovo okomito na razdjeljnu plohu. Slojevi zraka su različite temperature kako se udaljavamo od zemljine površine pa je u toplijim slojevima brzina zvuka veća kao i njegova valna duljina.



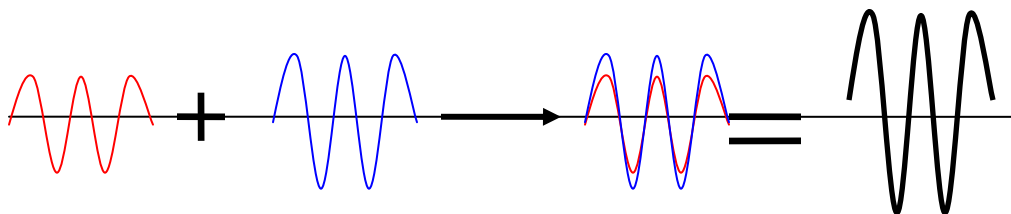
Slika 5: Refrakcija zvuka

Vrijedi: 
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

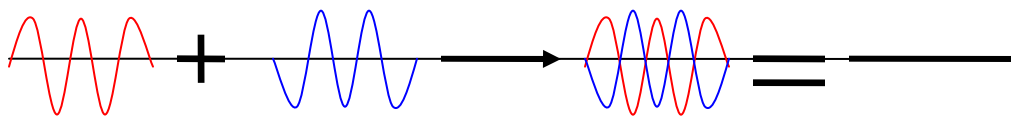
Alfom ( $\alpha$ ) označavamo upadnu zvučnu zraku, betom ( $\beta$ ) izlaznu zraku. Oznake  $c_1$  i  $c_2$  su brzina zvuka u različitim sredstvima.

## INTERFERENCIJA

**Interferencija je pojava međudjelovanja dva ili više vala.** Na mjestu susreta dvaju valova pojavljuje se novi val koji je dobiven tako da se **elongacije** tih dvaju valova zbroje. U prostoru gdje se susreću brijeg s brijegom i dol s dolom, valovi se pojačavaju, njihove se amplitude zbrajaju i nastaje novi val određene amplitude. Tu pojavu nazivamo **konstruktivna interferencija**. Tamo gdje se susreću brijeg i dol, također se zbrajaju amplitude, ali tada nastaje **destruktivna interferencija**. Ako su amplitude valova koje zbrajamo jednake, brijegovi i dolovi će se poništiti.



Konstruktivna interferencija

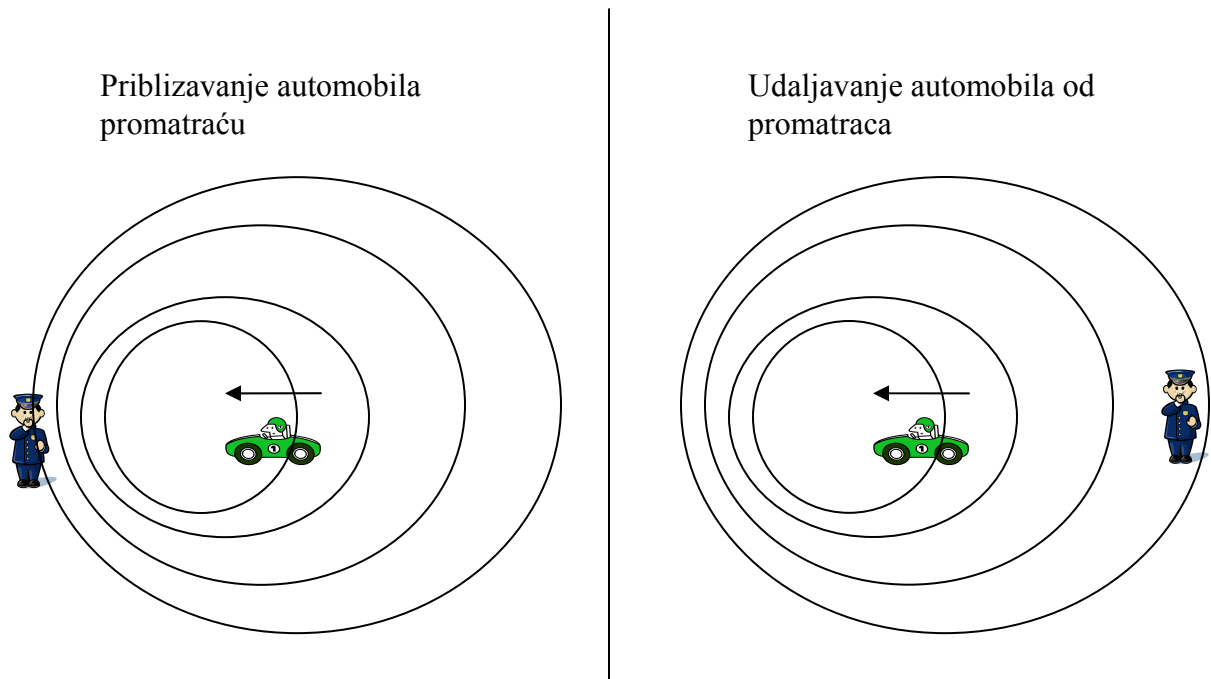


Destruktivna interferencija

Slika 6: Interferencija

## DOPPLEROV EFEKT

To je promjena valne duljine vala zbog međusobnog približavanja ili udaljavanja izvora i promatrača. Ovaj efekt otkrio je **Christian Doppler** 1842. godine. Dopplerov efekt je svatko od nas upoznao prilikom prolaska automobila ili upaljenje sirene policijskog, vatrogasnog ili medicinskog vozila kraj nas. Zvuk sirene je visok dok nam automobil prilazi, a nizak dok se automobil udaljava od nas. To je posljedica zbijanja valova zvuka ispred, i njihovog širenja iza izvora zvuka.



Slika 7: Dopplerov efekt

Kao na slici, možemo zamisliti da su fronte zvučnih valova prikazane crnom linijom. Ako nam se automobil približava, fronte postaju gušće te frekvencija zvuka kojeg čujemo raste. Ako se automobil udaljava od promatrača, fronte su

rjeđe i promatrač čuje kako frekvencija pada što se u stvarnosti ne događa jer ona ostaje nepromjenjena.

## 4. SLUŠNA AKUSTIKA

Uho je prijemnik zvuka koji radi na istom principu kao i mikrofoni: akustičku energiju pretvara u električnu<sup>5</sup>. **Uho je i analizator frekvencije te pomoću njega možemo odrediti smjer širenja i dolaska zvuka, glasnoću, visinu i boju zvuka.**

### 4.1. GRAĐA UHA

Uho je prijemnik zvuka koji radi kao mikrofoni i određuje smjer zvučnog izvora, frekvencijski je analizator i kao organ ima tri dijela:

1. **Vanjsko uho** – sastoji se od **usne školjke, slušnog kanala (zvukovoda) i bubnjića**. Usna školjka i slušni kanal čine lijevak koji na visokim frekvencijama pojačava zvuk. Rezonantna frekvencija slušnog kanala je oko 3500 Hz pa na tom području dobivamo pojačanje zvuka za oko 10 dB. Bubnjić je membrana u obliku lijevka s naborom na donjem kraju koji mu daje veću pokretljivost i omogućuje titranje oko svoje osi koja je u blizini gornjeg uha. Najniža impedancija bubnjića je oko 800 Hz i u tom području, bubnjić je idealan prijemnik zvuka jer se zvučni valovi praktički ne reflektiraju.

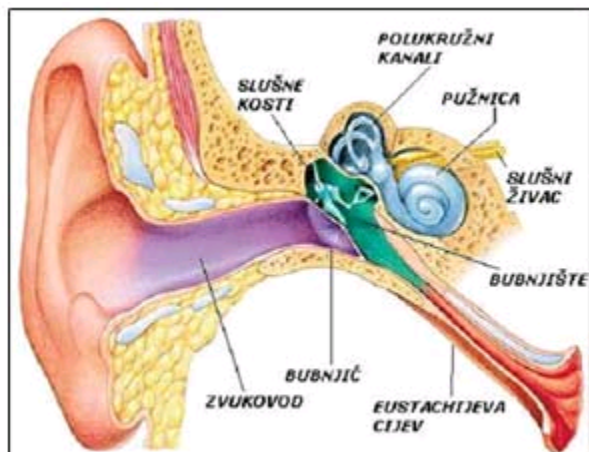
2. **Srednje uho** – sadrži slušne košćice i taj prostor je s usnom šupljinom spojen Eustachijevom cijevi. Ona je zatvorena osim u slučaju zijevanja i gutanja. Veza srednjeg uha i vanjskog prostora preko Eustachijeve cijevi je bitna jer se tim putem izjednačavaju tlakovi da ne bi došlo do oštećenja bubnjića. Primjer je promjena nadmorske visine ili ulazak automobila u tunel u kojem se vozimo. Zbog nejednakosti tlakova, možemo osjetiti bol u uhu, a tlak najlakše izjednačimo „gutanjem“ jer se tada otvara Eustachijeva cijev.

---

<sup>5</sup> Prof. Dr. Tihomir Jelaković – Zvuk sluh arhitektonska akustika

Košćice prilagođavaju veliki akustički otpor limfne tekućine malom akustičkom otporu zraka. Prva slušna košćica je **čekić** spojen sa sredinom bubnjića i zajedno s njime se okreće oko njegove osi. To gibanje se prenosi na **nakovanj** s kojim je povezana treća košćica koja je dobila ime **stremen** po svom obliku. Slušne košćice su relativno velikih masa pa je naše uho zaštićeno od prevelikog pobuđivanja vlastitim govorom. Veliki zvučni tlak postiže se samim time što je površina prozorčića na koji je pričvršćen stremen dva puta manja od površine bubnjića. Naše uho također ima i regulaciju glasnoće pomoću dva mišića koja su tetivama povezana s jednim hvatištem na stremen, a drugim na čekić. Na zvuk oko 60 dB, prvi mišić povlači vrh stremena, a između 60 i 100 dB, drugi mišić vuče čekić unutra.

**3. Unutrašnje uho** - ili labirint kako ga još zovemo se sastoji od **polukružnih kanala, predvorja i pužnice** te je cijelo ispunjeno limfnom tekućinom. Slušni kanali ne sudjeluju u slušnom procesu već služe za osjet ravnoteže. Predvorje se nalazi ispred polukružnih kanala i pužnice. Pužnica je najsloženije konstrukcije u cijelom ljudskom tijelu. Uzduž nje se protežu tri kanala međusobno odjeljena **bazilarnom i Reissnerovom membranom**, a na dnu je otvor nazvan **helikotrema**. Na dijelu gdje pužnica graniči sa srednjim uhom ima dva otvora - gornji u kojem je stremen vezan sa stjenkom i naziva se **ovalni prozorčić** i drugi koji je zatvoren - **okrugli prozorčić**. Iznad bazilarne membrane je **Cortijev organ** koji ima 23.500 osjetilnih stanica iz kojih izlaze fine dlačice koje pomažu u slušnom procesu i ujedno sprečavaju ulaz kukcima.



Slika 8: Građa uha<sup>6</sup>

## 4.2. SLUŠNI PROCES

Slušne košćice prenose titranje bubnjića na pločicu ovalna prozorčića pa se zvučna energija prenosi bubnjićem na tekućinu u unutrašnjem uhu. Hidraulički tlak uzrokuje titranje bazilarne membrane. Visoke frekvencije izazivaju najveće gibanje na početku bazilarne membrane, a niske frekvencije gibanje na kraju membrane. Bazilarna membrana je na početnom dijelu kruta i zategnuta, a pri kraju je debela i mlohava. Time membrana rastavlja kompleksni val u sinusne komponente čime ona ima funkciju analizatora. Kod savijanja bazilarne membrane, dlačice (cilije) u uhu se deformiraju i zbog toga se stvara elektricitet. Ti signali podražuju slušni živac. Na stanicama je negativni istosmjerni potencijal od oko 80 mV i kad nema slušnog podražaja, teče istosmjerna struja, a u mozak dopiru strujni impulsi. Prenošnje signala je kodirano i on je pulsno-frekvencijski, a brzina mu je od 1 do 100 m/s. Cilijarne stanice imaju živčane završetke neurone (oko 30.000). Jak podražaj aktivira neuron koji zatim šalje električne impulse. Za frekvenciju do 400 Hz, bazilarna membrana titra kao

<sup>6</sup> <http://www.bolnicang.hr/sluzbe/uho.htm>

cjelina. Samu glasnoću određuje broj sinhrono izazvanih impulsa, a brojnost se povećava u smjeru niskih frekvencijana na bazilarnoj membrani. Na frekvenciji 400-500 Hz, selektivnost bazilarne membrane je velika jer je područje titrajnih pomaka usko i glasnoća ovisi o broju impulsa u sekundi. Osnovna jedinica za razinu glasnoće jest **fon**. Ton frekvencije 1000 Hz ima glasnoću od 80 fona pri razini zvučnog tlaka od 85 dB.

Prag bola za čovjeka pri zvučnom tlaku od 2000  $\mu\text{b}$  i zvučnom intezitetu od 100  $\text{W}/\text{m}^2$  iznosi 130 do 140 dB. Razinu glasnoće računamo po formuli:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_o} = 20 \log \frac{P}{p_0} \text{ (fona)}$$

$$I_o = 10^{-2} \text{ W}/\text{m}^2$$

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-4} \mu\text{b}$$

Porastu razine glasnoće za 10 fona odgovara povišenje glasnoće na dvostruk broja **sona**. 1 son iznosi 40 fona.

$$L_{fon} = 40 + 33 \log L_{son}$$

U intervalu 30 - 120 dB, naše uho razlikuje oko 235 razina glasnoće. Ako se radi o složenom zvuku, onda se njegova snaga ne prima kao cjelina već kao 24 frekventna pojasa. Tonska grupa unutar svakog pojasa tvori jedinicu od jednog **barka** koji iznosi 1,3 mm na bazi membrane što pomnoženo s brojem barkova daje duljinu bazilarne membrane od 31 mm. Osobina pojasa je da razina glasnoće ovisi samo o zvučnom intezitetu, odnosno o efektivnoj vrijednosti zvučnog tlaka. Ako imamo n različitih izvora zvuka, tada ukupnu glasnoću dobijemo:

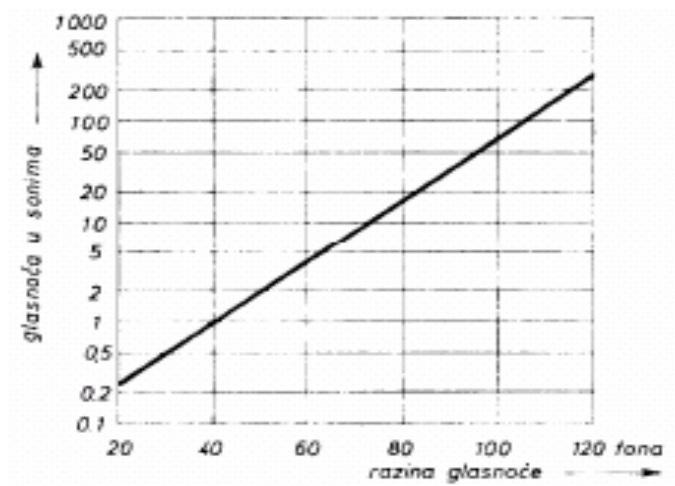
$$L = (L_1 + 10 \log n) \text{ (fona)} = L_1 + \Delta L$$

$\Delta L$  - korektivni član dobiven iz dijagrama

$L_1$  odgovara razini glasnoće najglasnijeg izvora

n - broj izvora zvuka





Slika 9: Dijagram inteziteta glasnoće <sup>7</sup>

<sup>7</sup> [http://www.fer.hr/\\_download/repository/105\\_Slusna\\_akustika.pdf](http://www.fer.hr/_download/repository/105_Slusna_akustika.pdf)

## 5. VIZUALIZACIJA

Zvuk se zapisuje u dva osnovna formata. Jedan zapisuje zvuk u formi koja odgovara originalnom zvučnom signalu (valu) i zove se **analogno snimanje**. Noviji format zapisa je **digitalni zapis** koji predstavlja zvučni val kao niz brojeva u binarnom zapisu.

Termin format se upotrebljava za opis broja kanala (struja) zvuka koji su upotrebljavani za snimanje i reproduciranje zvuka. Dva najraširenija formata su **mono** i **stereo** format<sup>8</sup>. U stereo zapisu svaki kanal ima drugačiju formu zvuka i signali se šalju zasebnim zvučnicima za vrijeme reprodukcije. Prilikom sviranja, zvuk iz dva kanala se miješa u zraku i daje iluziju smjera izvora zvuka. Promjenimo li postotak kanala, promjenit će nam se i smjer izvora zvuka.

**Analogno snimanje** se izvodi na tri načina, ovisno o mediju na koji zapisuje zvučni signal. **Tape recording** koristi magnetsku traku, **Phonograph** (hrvatski fonograf) zapisuje zvučni val na vinilsku traku, dok se kod **optičkog** snimanja detektira promjena inteziteta svjetla ciljanog na fotoelektrične ćelije. U analognom snimanju, električni signali iz mikrofona se transformiraju u magnetske signale. Ti se signali zapisuju na tanku plastičnu vrpču presvučenu sa tankim magnetskim slojem (krom-dioksid, željezo-oksidi...) u obliku čestica koje sprječavaju da magnetski naboj prelazi sa jednog sloja trake na drugi<sup>9</sup>. Nakon snimanja, traka prelazi preko tri magnetske glave za brisanje, snimanje i playback. Kada se zvuk reproducira, playback glava čita magnetsko polje trake i pretvara to polje natrag u električnu energiju. Najveći problem kod traka su

---

<sup>8</sup> <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/pesut/snimanje.htm>

<sup>9</sup> <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/pesut/formati.htm>

šumovi i iz tog su razloga razvijeni posebni sustavi koji pomažu pri redukciji tih neželjenih zvukova.

Kod fonografa se prilikom snimanja električni signali dovode do malog alata unutar magnetskog polja. Električni signali utječu na magnetsko polje i uzrokuju pomicanje alata u skladu sa signalom<sup>10</sup>. Za medij zapisa se koristi plastika ili neka vrsta mekanog metala. Snimka se reproducira tako da se postavi na pokretnu ploču, a specijalna igla (stylus) se kreće po površini medija. Brzina kretanje igle po površini ovisi o vrsti zapisa (LP-track i singles). Dio igle je postavljen u magnetsko polje i površina medija uzrokuje kretanje igle u tom magnetskom polju. Ta kretanja se konvertiraju u električne signale i tada se prenose u zvučnike.

**Optičko** snimanje zapisuje zvuk kao niz svijetlih i tamnih područja na traci filma. Ova metoda je prvi puta upotrebljena prilikom montiranja zvuka unutar filma. Zvuk se zapisuje na filmsku vrpcu uz rubne rupe. Svjetlosna zraka je fokusirana na traku i kako se detektiraju promjene u intezitetu svjetla, tako se te promjene konvertiraju u električne signale.

Digitalni sustavi transformiraju promjene vrijednosti zvučnih valova u nizove brojeva. Prilikom reprodukcije ti se nizovi brojeva transformiraju natrag u električne signale koji se šalju u zvučnike. Digitalni podaci mogu se spremati na CD-e, DVD-e, digitalne audiotrake (DAT), videotrake, te na sve komponente računala dizajnirane u svrhu spremanja podataka (hard drive, floppy, memory sticks,...). Digitalno snimanje se bazira na dva koncepta: **sampling rate** (broj učestalosti mjerenja vala u sekundi) i **quantization** (numerička veličina svakog sample-a). Digitalni snimači imaju unutarnji sat i pri svakom otkucaju, uređaj uzima snapshot valnog oblika koji tada definira pomoću broja. Taj broj prezentira amplitudu u tom trenutku i predstavlja jednostavni sample tog valnog

---

<sup>10</sup> <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/pesut/turtable.htm>

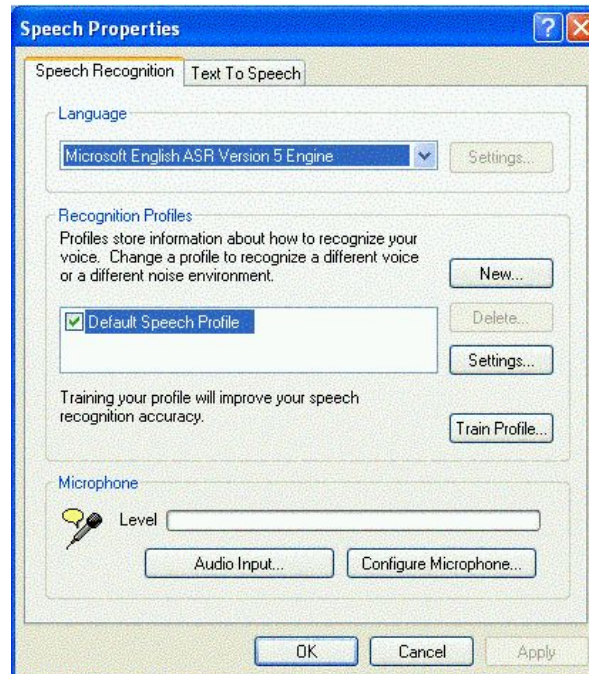
oblika. Digitalna informacija je zapisana kao nizovi nula i jedinica. Broj bitova korištenih za reprezentaciju digitalnog sample-a se naziva razlučivost (quantization). Što je veća razlučivost, veći je i opseg unutar kojeg se može prikazati vrijednost amplitude. Uobičajena vrijednost razlučivosti je 16 bita.

## 6. FOURIEROVA ANALIZA AKUSTIČKIH SIGNALA

Današnja tehnologija je ostvarila veliki napredak u smjeru razvoja komunikacije čovjeka s računalom. Iako je to još uvijek neistraženo i ponajviše nekorisćeno područje tehnologije, najjednostavniju komunikaciju s računalom može ostvariti svatko od nas uz malo truda, volje i znanja. Ponajprije treba podesiti računalo za upotrebu govora što je detaljno objašnjeno na Microsoftovim internet stranicama.

[http://www.microsoft.com/windowsxp/using/setup/expert/moskowitz\\_02september23.mspx](http://www.microsoft.com/windowsxp/using/setup/expert/moskowitz_02september23.mspx)

Prije svega, da bi mogli komunicirati s računalom, moramo imati mikrofonski uređaj. Za istraživanje na ovu temu, koristila sam se notebook-om koji u sebi ima integrirani mikrofonski uređaj. S obzirom da koristim Windows XP operacijski sustav, sama komunikacija s računalom je ograničena na programe unutar Microsoft Office-a. Nakon slijeda uputa i podešavanja svih parametara na računalo, počinjemo treningom pomoću kojeg „navikavamo“ računalo na naš glas, odnosno na njegovu boju i intenzitet.



Slika 10: Postavke<sup>11</sup>

Najjednostavniji primjer je korištenje prepoznavanja govora u Microsoft Wordu. Opciju uključujemo na sljedeći način:



Slika 11: Aktiviranje govora<sup>12</sup>

<sup>11</sup> [http://www.microsoft.com/windowsxp/using/setup/expert/moskowitz\\_02september23.msp](http://www.microsoft.com/windowsxp/using/setup/expert/moskowitz_02september23.msp)

Nakon pravilnih podešenja, pojavit će nam se alatna traka za govor i možemo početi.



Slika 12: Traka „jezika“

Sada si možemo postaviti pitanje na koji način računalo raspoznaje glas ili govor. Da bismo to razumjeli, posvetit ćemo se samoj analizi zvuka.

## 6.1. FOURIEROVA ANALIZA

...je rastavljanje funkcije na članove sumiranja sinusoidnih osnovnih funkcija preko frekvencija koje mogu biti ponovno složeni u zadanu funkciju<sup>13</sup>. Linearna operacija koja rastavlja funkciju u koeficijente sinusoidnih osnovnih funkcija se zove Fourierova transformacija. U signalnim procesima i drugim povezanim poljima **Fourierova analiza se smatra kao rastavljanje signala na njegove osnovne dijelove – frekvenciju i amplitudu.**

Ako za periodičnu funkciju uzmemo zvučni val, tada se, po Fourieru, svaki rezultatni zvučni val može aproksimirati trigonometrijskim redom oblika:

$$y = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos nx + b_n \sin nx$$

---

<sup>12</sup> [http://www.microsoft.com/windowsxp/using/setup/expert/moskowitz\\_02september23.msp](http://www.microsoft.com/windowsxp/using/setup/expert/moskowitz_02september23.msp)

<sup>13</sup> <http://vdjerek.net/stty/analiza%20zvuka%20v2.pdf>

gdje su  $a_0$ ,  $a_n$  i  $b_n$  koeficijenti Fourierove konstante. Njihovo glavno svojstvo je da pri računanju daju najmanju pogrešku. Ovaj osnovni oblik Fourierova reda nije pogodan za izračunavanje spektralne analize složenih zvučnih. Za računanje spektralne analize na računalima najčešće se koristi transformirana verzija gornje jednadžbe:

$$y_p = \sum_{k=0}^{n-1} x_k \left[ \cos\left(2\pi \frac{kp}{n}\right) + i \sin\left(2\pi \frac{kp}{n}\right) \right]$$

$x_k$  je kompleksna vrijednost unosa

$x_p$  je kompleksna vrijednost rezultata

$n = 2N$  je ukupan broj uzoraka na kojima se obavlja račun. Taj oblik Fourierovog reda dobivamo deriviranjem osnovne jednadžbe. Algoritam se naziva **brza Fourierova transformacija** (FFT) i njime postizemo najbrža moguća izračunavanja. Broj uzoraka na kojem se obavlja račun nužno mora biti jednak  $2N$ , gdje je  $N$  cijeli broj. Rezultat brze Fourierove transformacije je skup kompleksnih brojeva. Da bi se iz takvog prikaza prešlo u prikaz pogodan za prikaz spektralne analize, upotrebljava se tzv. **power spectrum** algoritam koji predstavlja frekvenciju kao redni broj kompleksnog broja u skupu, a elongaciju kao zbroj kvadrata realnog i imaginarnog dijela kompleksnog broja.

Zvučni valovi nisu niti približno periodični, pogotovo ne na razini malih uzoraka od nekoliko milisekundi. Da bi se postigla virtualna periodičnost uzorka i poboljšala preciznost računa, primjenjuje se metoda windowing funkcije koja djeluju tako da amplitude krajnjih dijelova uzorka smanji da se one prema sredini uzorka, postupno povećavaju ili smanjuju. Kada se takav uzorak provede kroz FFT funkciju, ona ga može predstaviti kao periodični signal ako uzmemo da je period tog uzorka jednak njegovoj duljini.

Maksimalan frekvencijski opseg spektralne analize osnovane na FFT metodi je jednak polovici frekvencije uzorkovanja (sampling rate). Preciznost FFT spektralne analize – njena razlučivost – je jednaka kvocijentu broja članova u



uzorku i frekvencije uzorkovanja<sup>14</sup>. To proizlazi iz toga da je osnovna frekvencija FFT analize obrnuto proporcionalna periodu koji predstavlja uzorak unesen u FFT algoritam. Taj period je jednak kvocijentu broja članova u uzorku i frekvencije uzorkovanja, pa je fundamentalna frekvencija i razlučivost analize obrnuto proporcionalna toj vrijednosti.

---

<sup>14</sup> <http://vdjerek.net/stty/analiza%20zvuka%20v2.pdf>

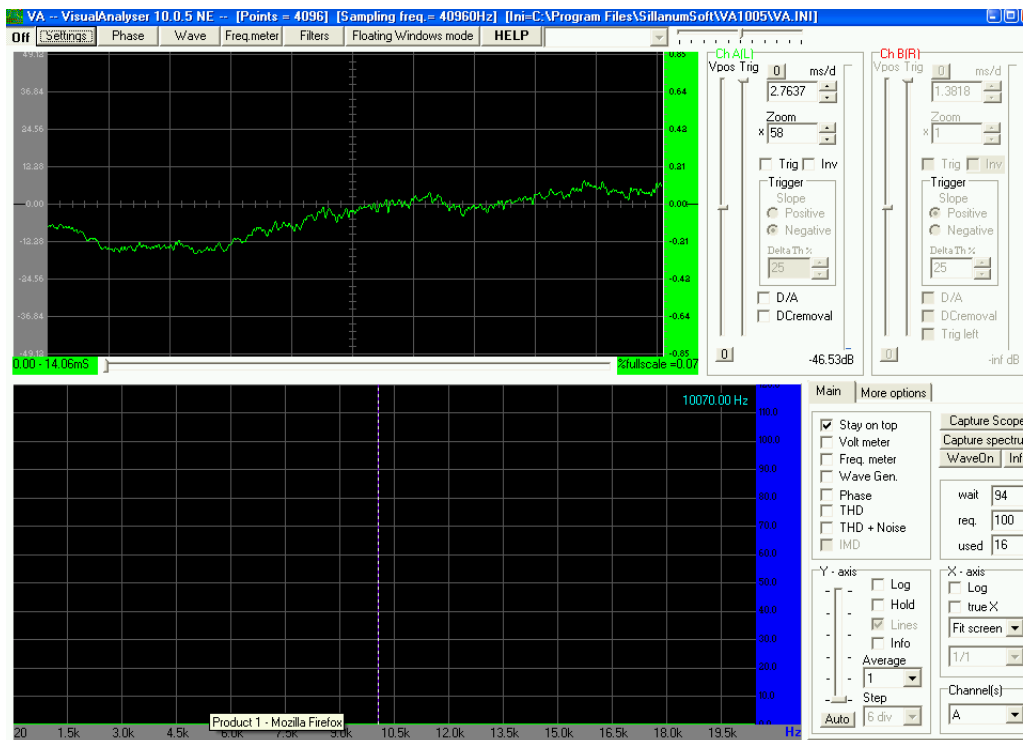
## 6.2. VISUAL ANALYSER

...je program dostupan svima koji se služe internetom ( [www.sillanumsoft.org](http://www.sillanumsoft.org) ).

Možemo ga koristiti kao :

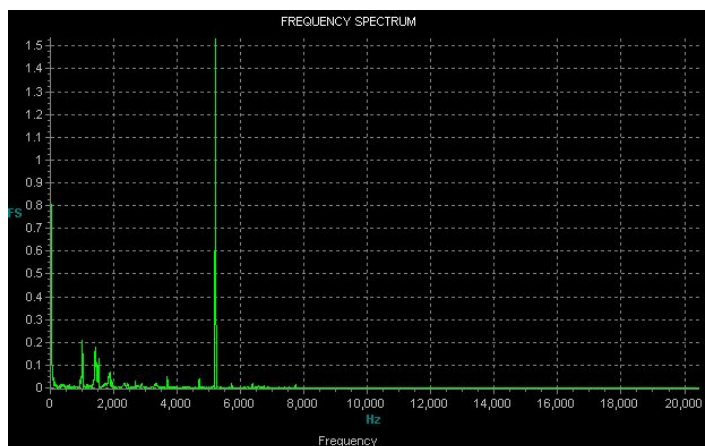
1. Osciloskop
2. Spektralni analizator s prikazom amplitude i faze (linearni i logaritamski prikaz, linije...)
3. Generator valnih oblika (triangular, square, sinus, noise, pulsni generator)
4. Mjerač frekvencije
5. Voltmetar

Sučelje programa se sastoji od dva prozora od kojih gornji služi za prikaz valnog oblika izvora zvuka, a donji prikazuje frekvenciju izvora.



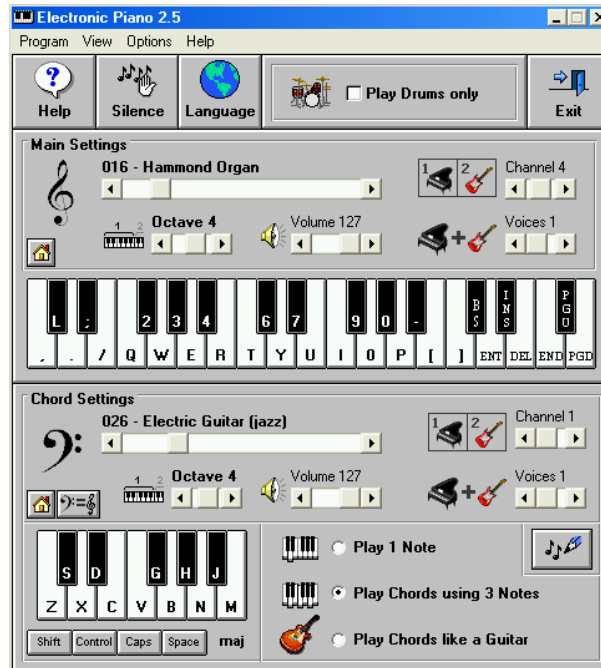
Slika 13: Sučelje Visual Analysera

Od dodatnih funkcija VA-a treba spomenuti mogućnost točnog prikaza spektra frekvencije. S obzirom da u prirodi ne postoje čisti zvukovi, pomoću prikaza frekvencijskog spektra možemo uočiti točan broj harmonika od kojih je neki zvuk sastavljen uz onaj osnovni. Koristenjem funkcije WaveOn i Capture spectrum-a, možemo vidjeti spektar fekvencije.



Slika 14: Spektar frekvencije

Za složenije primjere zvuka, poslužila sam se programom Electronic piano koji je besplatan i dostupan na adresi [www.softpedia.com](http://www.softpedia.com). Sučelje programa je vrlo jednostavno.



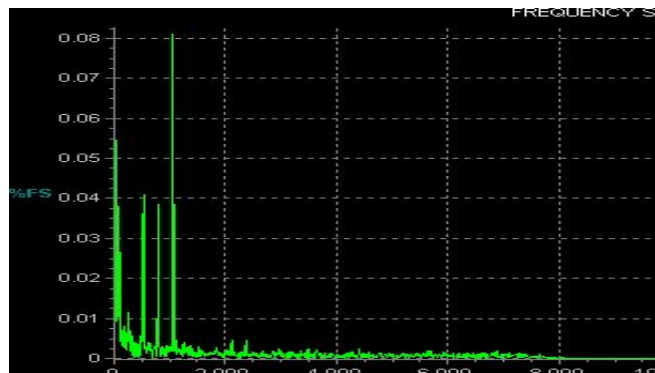
Slika 15: Sučenje programa Electronic piano 2.5

Osnovne postavke nam omogućavaju odabir instrumenta kojim želimo svirati jer nije obavezan izbor piana, oktavu (niz od 7 bijelih i 5 crnih tipki) koja će nam biti početna za sviranje, glasnoću i broj glasova. Vidljiva je i tipkovnica s 2.5 oktave s označenim znakovima tipkovnice računala koji služe umjesto tipki (žica) instrumenta. U realnosti, tipkovnica osnovnih postavki služi za desnu ruku svirača. Pomoću chord postavki, možemo uključiti i lijevu ruku u proces sviranja što nam neće biti potrebno za ovaj rad.

Ovaj program smatram korisnim za lakše shvaćanje vizualizacije zvuka zbog jednostavnosti, efikasnosti i uštede na vremenu. Zamislite samo trajanje procesa pripreme instrumenata te snimanje i analizu njihova zvuka. Također je lako zaključiti da je ovim programom smanjena i količina buke, odnosno šumova u samom procesu vizualizacije zvuka. Iako će svaki opažatelj neoštećenog sluha i sam primjetiti da ton proizveden električnom gitarom puno bolje zvuči u

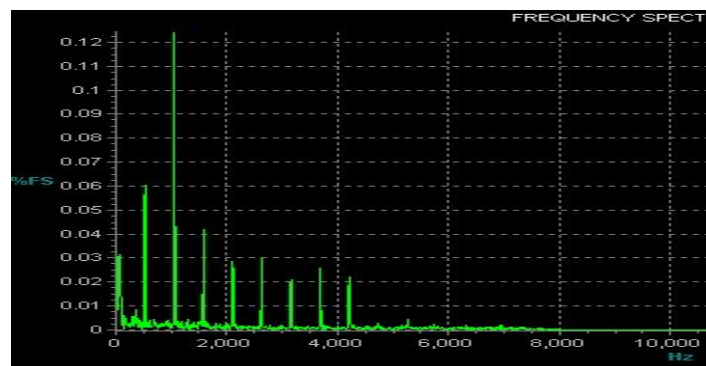
stvarnosti bez obzira na mogućnosti današnje tehnologije. Kako smo do sada naučili da je zvuk određen frekvencijom i intezitetom, treba to pokazati i na primjeru.

Za prvi primjer odabrani instrument su orgulje uz sviranje samo jednog tona (ton C koji je na tipkovnici slovo t). Nakon mjerenja VA-om, dobiveni rezultati pokazuju:



Slika 16: Spektar fekvencije tona C odsviranog orguljama

Drugi odabrani instrument je truba. U Electronic piano programu sve postavke ostaju neizmjenjene osim instrumenta, a dobiveni spektar tona C odsviranog trubom je:



Slika 17: Spektar fenkvencije tona C odsviranog trubom

Što možemo uočiti? Kako smo naučili da zvukove razlikujemo po boji zvuka jer je svaki zvuk sastavljen od harmonika, slike pokazuju tu različitost boje zvuka, odnosno sami spektar frekvencije. Svim instrumentima smo odsvirali ton jednake frekvencije, a boje su različite. Rezultat se može potkrijepiti i mjerачem frekvencije. Opcija mjerачa frekvencije može izračunati frekvenciju s velikom točnošću iako bilo kakav šum utječe na nju pa ona varira<sup>15</sup>.

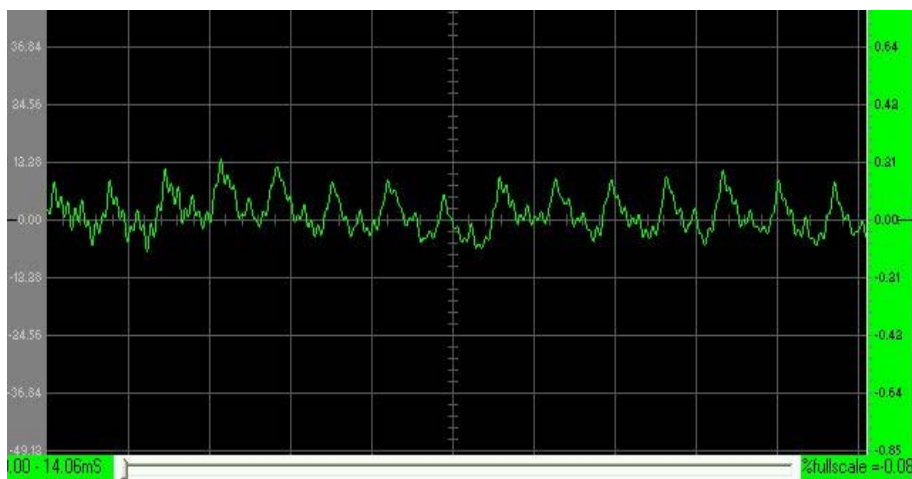


Frekvencije tona C odsviranog s  
orguljama

Frekvencije tona C odsviranog s  
trubom

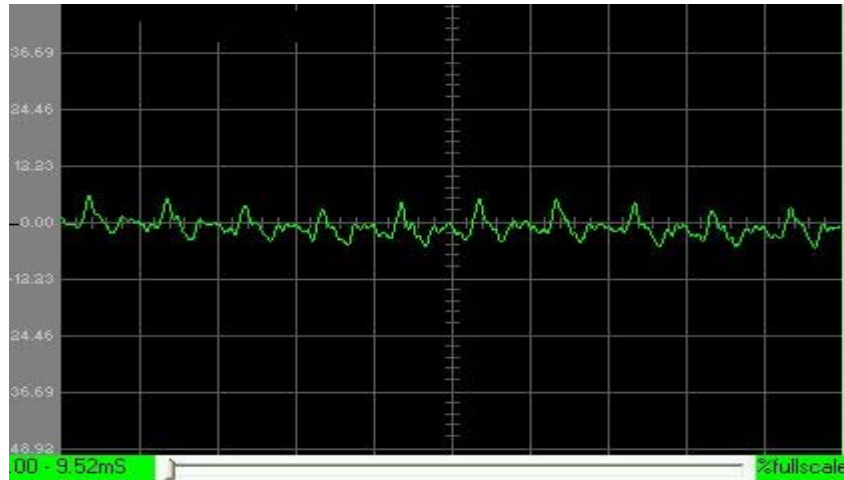
Slika 18: Prikaz mjerenih frekvencija

Posljednja vidljiva razlika korištenjem VA-a je i sam oblik valnog gibanja.



Slika 19: Valno gibanje zvuka orgulja

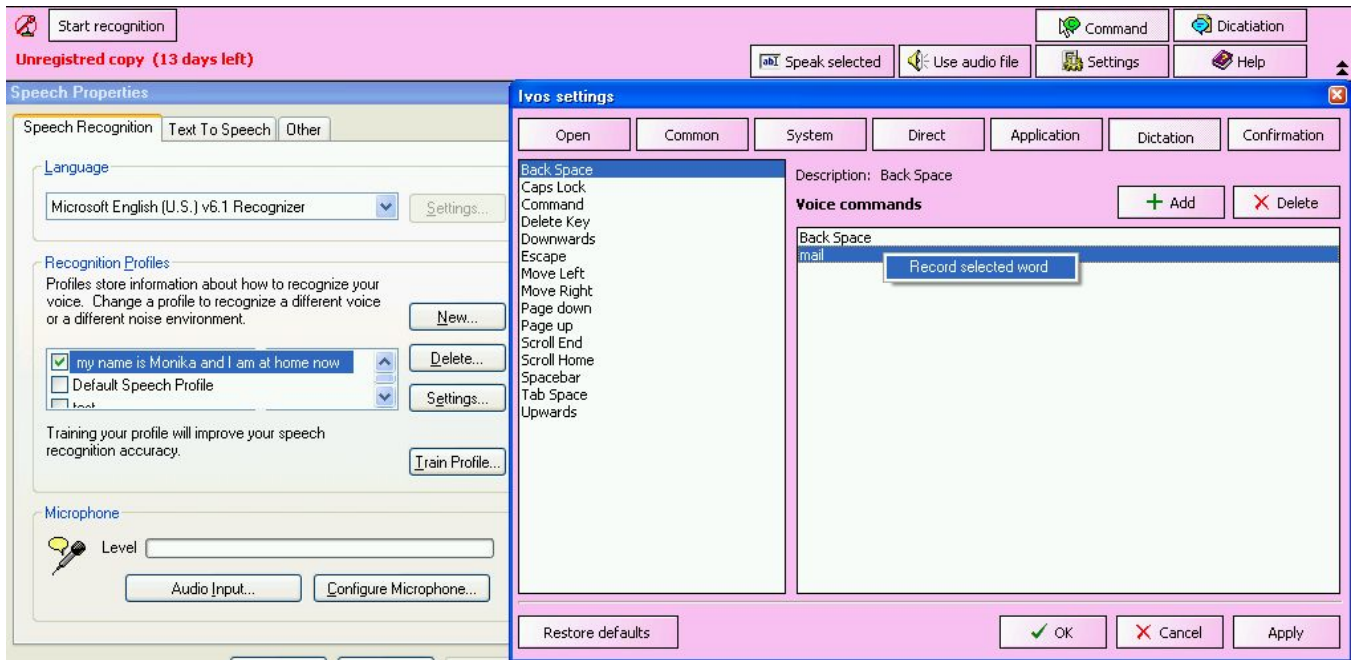
<sup>15</sup> [www.phy.hr/~dandroic/nastava/diplome/drad\\_ivan\\_lesic.pdf](http://www.phy.hr/~dandroic/nastava/diplome/drad_ivan_lesic.pdf)



Slika 20: Valno gibanje zvuka trube

Program je također vrlo praktičan i pogodan za nastavu fizike u korelaciji s informatikom i obrnuto jer je učenicima zabavan zbog prvog susreta s takvim načinom rada. Najpogodniji je za srednjoškolsko gradivo zbog proširenog znanja gradiva valova i zvuka.

Kao profesor Informatike u osnovnoj školi, učenicima 7. razreda sam prilagodila cjelokupno gradivo i upoznala ih s meni najzanimljivijim djelovima primjene vizualizacije u računalnom prepoznavanju govora. Za to sam koristila program **IVOS - Intelligent Voice Operating System 2.0.2.A**, shareware verziju čije je korištenje dovoljno za obradu na satu i prilagodbi sadržaju nastavnog programa. U programu je pohranjeno niz naredbi za pokretanje, otvaranje, zatvaranje programa i niz naredbi koje nam omogućavaju rad u odabranom programu. Program također ima mogućnosti dodavanja naredbi. Kako se svi danas koristimo e-mailom (elektroničkom poštom) za razmjenu informacija, obavijesti i podataka, novu naredbu sam nazvala **mail**, koja funkcionira na principu snimljenih riječi kojima dodajemo željenu radnju, spojimo ta dva koraka i imamo željeni učinak.

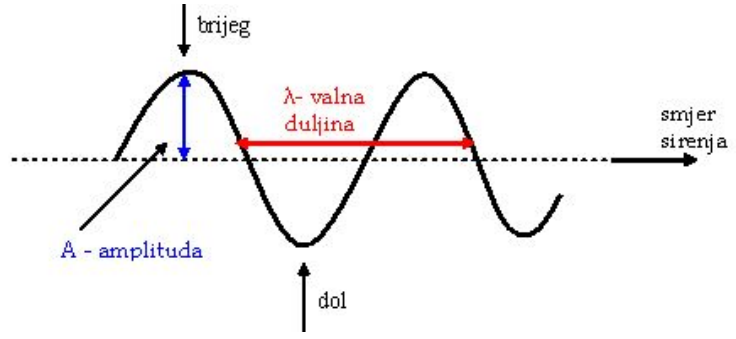


Slika 20: Sučelje Ivos programa

Na slici su vidljivi najkorisniji dijelovi programa. Ako je program pokrenut, na našoj radnoj površini je vidljiv na vrhu. Lijevi prozor slike 20, pokazuje postavke za prepoznavanje govora koje se moraju prilagoditi korisniku računala i programa (prije rada s računalom putem govora trebamo podesiti računalo i upoznati ga s glasom što je opisano u poglavlju 5). Desni dio slike prikazuje slijed izbornika pomoću kojih dodajemo naredbe.



## 7. PLAN NASTAVE

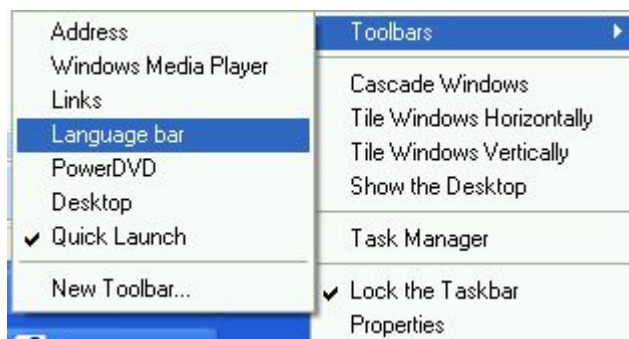
<b>NASTAVNA PRIPREMA</b>		<i>Informatika – 7. r.</i>
		<i>Datum:</i>
<i>Nastavna jedinica:</i>		Kako zapisati, vidjeti i razlikovati zvuk
<i>Kataloška tema:</i>		<b>Ostale Internet usluge</b>
<i>Nastavna cjelina:</i>		<b>4. Vizualizacija govora</b>
<i>Vrsta sata:</i> obrada novoga gradiva	<i>Cilj</i> Naučiti aktivirati i koristiti language bar traku unutar Microsoft Worda za daljnju primjenu u MS Office-u	
<i>Oblik rada:</i> Frontal, grupni i individualni oblik rada, metoda razgovora, praktičan rad	<i>Zadaci</i> Samostalno podešavanje računala za glasovne naredbe	
<i>Ključni pojmovi</i>	Frekvencija, amplituda, valna duljina, dictation, mikrofon, voice command, Visual Analyser	
<i>Obrazovna postignuća</i>	Samostalno aktiviranje alatne trake namjenjene za komunikaciju s računalom, korištenje Visual Analysera	
<b>ARTIKULACIJA METODIČKE JEDINICE</b>		
<i>Dio sata</i>	<i>Sadržaj rada</i>	<i>Metodičko oblikovanje nastave</i>
uvodni dio (10 min)	<p><i>Korelacija s fizikom, ponavljanje valova i zvuka. Što je val? Od čega se sastoji? Što je zvuk i kako ga prepoznamo?</i></p> <p>Kao primjer crtamo val</p>  <p><i>Kako biste vi omogućili slijepim osobama korištenje računala? Za što sve danas možemo koristiti govor pomoću tehnologije?</i></p> <p>Učenici će predlagati različite načine korištenja računala za slijepe osobe. Cilj ih je odgovorima uputiti da glas, govor,</p>	frontalna analiza,  razgovor,  usmeno izlaganje

	<p>snimanje zvuka i na samom kraju prepoznavanje zvuka možemo upotrijebiti u ovom problemu.</p> <p>Komunikacija s računalom.</p> <p>Nakon rasprave učenicima pokazati izgled govora pomoću programa Visual Analyser i krenuti na glavni dio sata posvećen prepoznavanju govora.</p>	<p>računalo i LCD projektor</p>
<p><i>glavni dio sata (70 min)</i></p>	<p>Ukratko ispričati i pomoću projektora pokazati učenicima kako se aktiviraju funkcije za prepoznavanje govora i prilagodba tastature engleskom jeziku. Iskoristiti priliku i ponoviti što su alatne trake, kako se aktiviraju te ih uputiti kako aktivirati language bar:</p> <p>Desnim klikom na donju traku → toolbars → show language bar → desni klik ponovno na alatnu traku → restore the language bar</p> <p>Demonstrirati im kako pomoću opcije dictation računalo prepoznaje naš govor i zapisuje ih u word dokument. Aktivirati Visual Analyser i pokazati im oblik vala za vrijeme govora. Samostalno će to promatrati i mjeriti frekvenciju.</p>	<p>usmeno izlaganje,</p> <p>demonstracija rada s pomoću LCD projektora</p> <p>računalo</p>
<p><i>završni dio sata (vježba) (10 min)</i></p>	<p>Rasprava o obrađenom sadržaju</p> <p>Prikaz komunikacije računala uz pomoć IVOS-a: aktiviranje različitih programa uz pomoć glasovnih naredbi</p>	<p>razgovor</p>

**Potrebna nastavna sredstva i pomagala**

LCD projektor ili grafoskop, računalo

### **PLAN ŠKOLSKE PLOČE (PROZIRNICE)**



#### **AKTIVIRANJE ALATNE TREKE**

1. desni klik na alatnu traku → *toolbars* → *language bar*

2. Traka se aktivirala
3. desni klik na alatnu traku → *restore the Language bar*



Traka se otvara na radnoj površini programa u kojem se nalazimo:



### ***Mjerenje frekvencije***

- Oznaka za frekvenciju  $f$
- Jedinica [Hz]
- Ljudsko uho čuje zvukove u rasponu od 16 do 20.000 Hz

## 8. ZAKLJUČAK

Iako je tehnološki razvoj komunikacije čovjeka i računala još uvijek nedovoljno istraženo područje, današnje mogućnosti su vrlo velike iako ograničene zbog samog razvoja tehnologije na tom području. Prije svega, takva tehnologija omogućava lakši, ako ne i jedini pristup korištenja računala osobama s invaliditetom, posebno slijepim osobama. Programi koji rade na principu prepoznavanja govora imaju odlične upute za korištenje i vrlo su jednostavni u samoj primjeni u što sam se i uvjerila. Također se prepoznavanje govora primjenjuje i za različite vrste identifikacije čovjeka što smo mogli vidjeti u filmovima, a tu mogućnost možemo koristiti i na našem računalu. S obzirom da ova tema uopće nije obrađena kao dio nastavnog programa na fakultetu, činila mi se kao odličan izbor za obradu i put u nepoznato. Kroz svoje istraživanje sam zaključila da iako smo na samom početku laičke komunikacije s računalom, sama primjena uopće nije zastupljena sadržajno u odgojno – obrazovnim i obrazovnim ustanovama iako mislim da je to vrlo zanimljivo gradivo za obradu i uz to, većina korisnika ni ne zna da postoje te mogućnosti. Ostaje nam čekanje razvoja tog djela tehnologije i njegova primjena kako na osobnim računalima, tako i u državnim ustanovama. Ukratko, čeka nas zanimljiva i još naprednija budućnost informatičke tehnologije.

*„Poput nekog kopaca zlata moras se pomiriti s time da trebaš iskopati mnogo pijeska iz kojega ćeš poslije strpljivo isprati nekoliko sićusnih komadića zlata.“*

Dorothy Bryant

## 9. LITERATURA

1. prof. Dr. Tihomir Jelavić: „Zvuk, sluh, arhitektonska akustika“
2. Osnović Arpad, Fece Ivan, Tibai Stevan: „Akustika i tonsko snimanje“
3. Vladimir Paar, Sanja Martinenko: „Fizika 8“
4. Udžbenik fizike Sveučilišta u Berkeleyu: „Valovi“
5. Ratkaj, Kurtović, Kovačićel, Krnjaić: „Fizika 8“
6. Milotić, Mikuličić, Prelovšek-Peroš: „Otkrivamo fiziku 8“
7. Vladimir Paar: „Fizika-udžbenik za treći razred gimnazije“
8. Vučić, Ivanović: „Fizika 1“
9. [www.softpedia.com](http://www.softpedia.com)
10. [www.microsoft.com](http://www.microsoft.com)
11. [www.mathworks.com/moler/fourier.pdf](http://www.mathworks.com/moler/fourier.pdf)
12. <http://nastava.hfd.hr/simpozij/2001/2001-Bakac.pdf>
13. [http://www.hi-fi.hr/wam/Arhiva/Broj\\_1/VUKADIN.html#1](http://www.hi-fi.hr/wam/Arhiva/Broj_1/VUKADIN.html#1)
14. <http://metodika.phy.hr/gf/index.php?kat=5&m=2>
15. [http://www.geof.hr/~zhecimovic/PFG\\_Predavanja/PFG\\_Predavanja.htm#Brza%20Fourierova%20transformacija](http://www.geof.hr/~zhecimovic/PFG_Predavanja/PFG_Predavanja.htm#Brza%20Fourierova%20transformacija)
16. [http://www.phy.hr/~dandroic/nastava/diplome/drad\\_ivan\\_lesic.pdf](http://www.phy.hr/~dandroic/nastava/diplome/drad_ivan_lesic.pdf)
17. <http://www.ffzg.hr/fonet/pletikos/predavanja-opca/P-2006-07-Akustika%20govora-pregled.pdf>
18. <http://www.bolnicang.hr/images/uho.jpg>
19. <http://dog.zesoi.fer.hr/predavanja/HTML/Sirenje%20zvuka.htm>
20. [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)
21. [http://www.fer.hr/\\_download/repository/105\\_Slusna\\_akustika.pdf](http://www.fer.hr/_download/repository/105_Slusna_akustika.pdf)
22. <http://www.carnet.hr/referalni/obrazovni/imme/mmelem/audio>
23. <http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/Biographies/Fourier.html>
24. [http://eskola.hfd.hr/fiz\\_sva\\_stva/cd/malo\\_povjesti/cd1.html](http://eskola.hfd.hr/fiz_sva_stva/cd/malo_povjesti/cd1.html)

25. [http://www.neotronic.info/index.php?option=com\\_glossary&func=display&letter=All&page=2&catid=35&Itemid=59](http://www.neotronic.info/index.php?option=com_glossary&func=display&letter=All&page=2&catid=35&Itemid=59)
26. <http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/Biographies/Fourier.html>
27. <http://www.design-ers.net/eh-rjecnik.asp>