Fizika ljudskog glasa

Gemeri, Dejan

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Physics / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:160:024465

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Department of Physics in Osijek

zir.nsk.hr

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

dabar

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU



DEJAN GEMERI

FIZIKA LJUDSKOG GLASA

ZAVRŠNI RAD

Osijek, 2018.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU



DEJAN GEMERI

FIZIKA LJUDSKOG GLASA

ZAVRŠNI RAD

Predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku radi stjecanja zvanja prvostupnika

Ovaj završni rad izrađen je u Osijeku pod vodstvom mentorice doc. dr. sc. Maje Varge Pajtler u sklopu Sveučilišnog preddiplomskog studija Fizike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.

Sadržaj

1. UVOD 1

2. VALOVI 2

3. AKUSTIKA 4

4. ZVUK 5

5. FIZIKA LJUDSKOG GLASA 6

6. IZVOR ZVUKA (GLASA) 7

7. MODIFIKATOR (FILTER) 9

8. POTEŠKOĆE PRI IZVEDBI EKSPERIMENTA U FIZICI LJUDSKOG GLASA 10

9. BOJA ZVUKA I PJEVANJE 13

10. FORMANTI 15

11. HELIJ I GOVOR 16

12. ZAKLJUČAK 18

13. LITERATURA 19

14. ŽIVOTOPIS 20

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera Završni rad

Odjel za fiziku

FIZIKA LJUDSKOG GLASA

DEJAN GEMERI

Sažetak

Ljudska vrsta jedina je tijekom svojeg postojanja uspjela razviti sposobnost govora što je uvelike doprinijelo razvoju civilizacije. Razvojem govora ljudi su svoju međusobnu koegzistenciju olakšali i način sporazumijevanja podigli na efikasniju razinu. Ljudski glas sastavni je dio naše svakodnevice, a njegov nastanak i fizikalna pozadina izuzetno je zanimljiva i predstavlja pitanje na koje bismo mogli pronaći odgovor. U ovom je završnom radu uz pomoć poznavanja elementarne anatomije čovjeka i akustike pojašnjeno kako nastaje ljudski glas i kakvi se sve procesi pri tome odvijaju.

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku

Ključne riječi: akustika/ljudski glas/valovi/zvuk

Mentorica: doc. dr. sc. Maja Varga Pajtler

Ocjenjivači:

Rad prihvaćen: odlukom Odbora za završne radove

University Josip Juraj Strossmayer Osijek Bachelor of Physics Thesis

Department of Physics

PHYSICS OF HUMAN VOICE

DEJAN GEMERI

Abstract

Homo sapiens are the only species that has, during their existence, developed the ability to communicate, which greatly contributed to the evolution of civilization. With communication, human species have made their co-existence easier and the ways of mutual understanding has been raised to a more effective level. Human voice is an integral part of an everyday life; hence its genesis and physical background represents an interesting question, as well as the question which needs to be answered adequately. This paper provides definitions on acoustics and elementary anatomy of a human being, and it is centered on how human voice is created with descriptions of inevitable processes which take place during the production of speech and communication.

Keywords: acoustics/human voice/sound/waves

Thesis deposited in Department of Physics library.

Supervisor: doc. dr. sc. Maja Varga Pajtler

Reviewers:

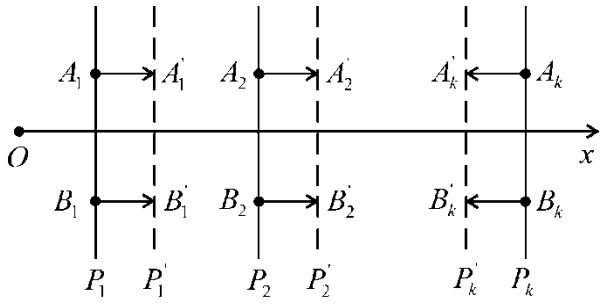
Thesis accepted: by decision of the Committee for Bachelor thesis

1. UVOD

U ovom je završnom radu s fizikalne strane prikazano kako nastaje ljudski glas, na koji način čovjek upravlja visinom, bojom i frekvencijom glasa te kako takve pojave tumači fizika. Ljudski glas još je uvijek tema koja je predmet istraživanja, ali se neke osnovne stvari i već ustaljeni procesi mogu definirati kroz određene primjere, uz poznavanje ljudske anatomije.

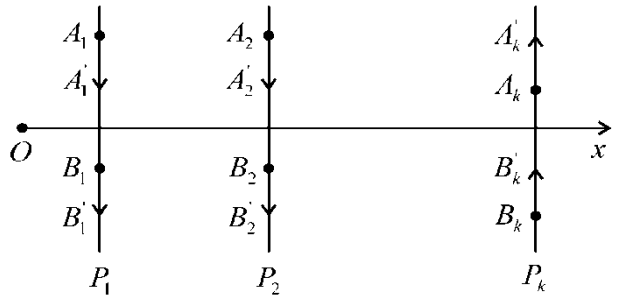
2. VALOVI

Valno gibanje definiramo kao prijenos energije i količine gibanja iz jedne točke prostora u drugu, bez prijenosa tvari. Valovi imaju mogućnost širenja kroz elastična tijela, koja imaju sposobnost da se nakon kratkotrajne deformacije uzrokovane nekom vanjskom silom, vrate u prvobitno stanje. Razlog je upravo taj što su elastična tijela građena od čestica koje su međusobno povezane elastičnim vezama i na taj način deformacija jedne čestice uzrokuje deformaciju njene susjedne čestice, koja će potom deformirati svoju susjednu česticu i tako redom, nakon čega dobivamo val, odnosno širenje poremećaja prostorom. Razlikujemo dvije vrste valova prema podjeli s obzirom na smjer širenja vala u odnosu na smjer titranja čestica, a to su longitudinalni i transverzalni valovi. Određujemo ih u ovisnosti o odnosu vektora pomaka i valne ravnine. Kažemo da je valna ravnina ona ravnina u kojoj materijalne točke imaju jednake vektore pomaka. Pomak je vektorska veličina koja opisuje ukupnu promjenu položaja čestice u nekom vremenskom intervalu, a vektor pomaka je usmjerena dužina kojoj se početna točka nalazi na početku intervala, a konačna na kraju intervala. Kod longitudinalnih valova, vektor pomaka čestica sredstva okomit je na valnu ravninu, odnosno paralelan s valnom zrakom. Čestice se gibaju ili titraju uzduž pravca širenja vala (Slika 1).



Slika 1: Grafički prikaz pravca širenja vala (pravac x) te gibanja točaka na valu (u smjeru pravca x) kod longitudinalnog vala. Pravac x je pravac širenja vala, a A i B predstavljaju titrajne točke [3].

Kod transverzalnih valova, vektori pomaka materijalnih točaka leže u valnim ravninama, odnosno okomiti su na valnu zraku, tj. čestice sredstva titraju okomito na smjer širenja vala (Slika 2).



Slika 2: Grafički prikaz pravca širenja vala (pravac x) te gibanja točaka na valu (pravac P) kod transverzalnih valova. Pravac x je pravac širenja vala, a točke A i B su titrajne točke koje leže na pravcu P [3].

U fluidima se šire samo longitudinalni valovi. Za pojavu transverzalnog vala potrebne su sile koje se protive pomicanju jednog sloja sredstva prema susjednom sloju. Transverzalni valovi mogući su samo u tijelima čvrstog stanja, a longitudinalni valovi mogu se širiti u sredstvima svih agregatnih stanja (čvrstog, tekućeg, plinovitog).

3. AKUSTIKA

Akustika je područje fizike koje se bavi načinima dobivanja i zakonima širenja zvuka. Titranje čvrstih tijela u fluidu proizvodi longitudinalne valove pomaka i te valove uho zamjećuje kao šum ili ton. Zvuk se može širiti samo kroz medije u kojima se nalaze tvari ili molekule, a ne može se širiti vakuumom. To možemo pokazati jednostavnim pokusom koristeći zvono i staklenu posudu. Ako u staklenu posudu stavimo zvono te ga protresemo, čut ćemo zvuk zvona, ali ako iz posude isišemo zrak posebnom pumpom, tada nećemo čuti zvuk zvona.

4. ZVUK

Zvučni valovi su longitudinalni valovi uzrokovani vibracijama molekula ili čestica. Oni su karakterizirani brzinom, jakosti, kvalitetom (ovisi o uzroku zvuka), bojom i frekvencijom. Brzina zvuka je brzina kojom se zvučni val širi u nekom mediju (sredstvu). Ona je najveća u čvrstim tijelima (oko 5000 m/s u željezu), manja u tekućinama (skoro 1500 m/s u vodi) i najmanja u plinovima (brzina zvuka u heliju je oko 956 m/s). Mi obično slušamo zvuk koji se giba zrakom pa promatramo brzinu zvuka u zraku, koja iznosi otprilike 334 m/s. Jakost zvuka predstavlja odnos srednje snage koja se prenosi zvučnim valom i površine okomite na pravac prostiranja vala. Jakost zvuka povezana je s amplitudom zvučnog vala. Amplituda vala je maksimalni odmak čestice koja titra od ravnotežnog položaja. Čestice vibriraju oko prosječnog položaja koji je nazvan položaj nulte amplitude. Povećanje amplitude valova zvuka ima za posljedicu jačanje zvuka. Razina jakosti zvuka se mjeri u decibelima (*dB*) i ona je fizikalna veličina izražena logaritamskom skalom. Decibel je veličina koja predstavlja logaritam odnosa dvaju intenziteta. Vrijednost nivoa u decibelima izračunava se prema izrazu (1), pri čemu je s P_1 označena zvučna snaga, s P_0 referentna snaga koja iznosi 10^{-12} W, a L je razina jakosti zvuka u decibelima.

$$L = 10 \log \frac{P_1}{P_o} \qquad (1)$$

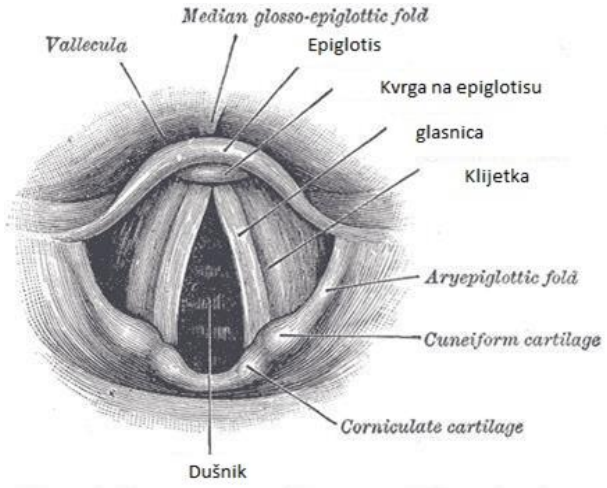
Boja zvuka ovisi o broju i jačini popratnih tonova koji se javljaju istodobno s glavnim tonom. Iako ih nije moguće svjesno prepoznati sluhom, oni utječu na ljudsku percepciju tona jer mu pridaju specifično i prepoznatljivo zvučanje. Zvukovi se razlikuju po kvaliteti (ona pokazuje razliku između tonova pojedinih instrumenata jer svaki od tonova ima svoj karakteristični zvuk) i boji, pomoću čega mi možemo zaključiti o kojem se primjerice instrumentu radi, ako samo slušamo ton koji se proizvede. Odnosno ako zatvorenih očiju slušamo isti ton koji proizvode dva različita instrumenta, razlikujući kvalitet i boju, lako ćemo zaključiti o kojim se instrumentima radi. Frekvencija zvuka je broj titraja koje materijal čini u jednoj sekundi, a ljudsko uho može detektirati frekvencije zvučnog vala između 20 Hz i 20000 Hz.

5. FIZIKA LJUDSKOG GLASA

Fizika ljudskog glasa u znanosti ima dugačku povijest. Proučavanje ljudskog glasa od velikog je značaja upravo zbog toga što želimo prikazati i opisati na koji to način ljudska vrsta drži na egzistenciji međusobnu komunikaciju, odnosno društvenu interakciju. Ljudski glas jedan je od područja istraživanja u mnogim laboratorijama, a posebnu pozornost istraživačima privlače osobe koje se bave pjevanjem. Učestalo je razmišljanje da glas nastaje iz dva usko povezana procesa, od kojih, jedan stvara početni zvuk, a drugi ga mijenja, odnosno modificira. Takvo razmišljanje bilo bi točno kada bismo situaciju razmatrali vrlo šturo i „plastično“, međutim, moramo znati kako je nastajanje ljudskog glasa proces koji zahtijeva šire i detaljnije promatranje te stoga ima više aspekata s kojih možemo izraziti stajalište samog nastajanja glasa. Grkljan proizvodi zvuk čiji spektar sadrži mnoge različite frekvencije, zatim, koristeći jezik, zube, nepca i slično, mijenjamo spektar tog zvuka tijekom vremena.

6. IZVOR ZVUKA (GLASA)

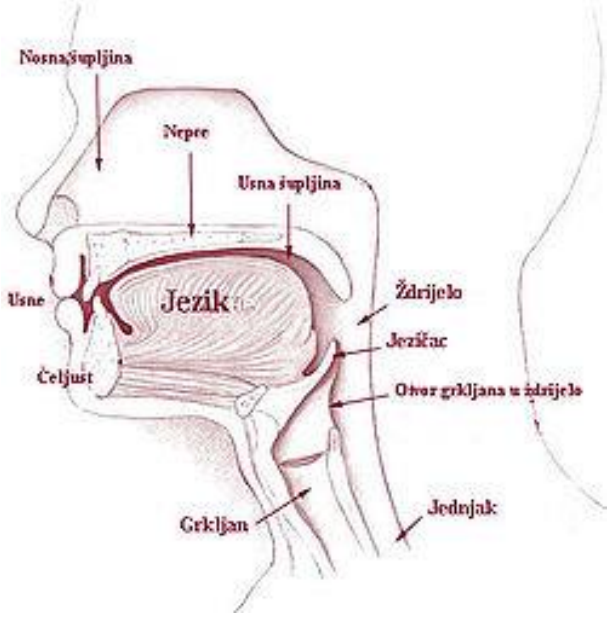
Postoji nekoliko izvora ljudskog glasa. Energija uobičajeno dolazi od zraka koji je „izbačen“ iz pluća i putuje do grkljana te se prenosi na glasnice. U glasovnom govoru, glasnice ili glasne žice (Slika 3) vibriraju. Kako one vibriraju, kroz njih prolazi zrak i tako nastaju zvučni valovi.



Slika 3: Shematski prikaz mekanog tkiva. Na slici su prikazani epiglotis, kvrga na epiglotisu, klijetka, ariepiglotski nabor (aryepiglottic fold) , hrskavice (cuneiform cartilage, corniculate cartilage), dušnik, središnji epiglotski nabor (median glosso – epiglottic fold), jamica (vallecula) [4].

To možemo na vrlo jednostavan i praktičan način provjeriti tako što postavimo prste na Adamovu jabučicu i nešto izgovorimo. Tada ćemo osjetiti vibraciju. Kada šapćemo, glasne žice ne vibriraju nego su skupljene, što uzrokuje turbulentan prolaz zraka, čija je posljedica zvuk vrlo niske frekvencije, kojeg nazivamo širokopojasni zvuk. Zapravo kažemo da nastaje vjetrovit zvuk, odnosno šaptanje. Također, to možemo i praktično dokazati: ako prislonimo prste na Adamovu jabučicu i izgovorimo šaptom neku riječ, zapazit ćemo da nema vibriranja. Ovo saznanje nam omogućava da podijelimo govor na zvučni i bezvučni. Zvučni govor je govor koji nastaje kada proizvodimo zvuk (ton/glas) pri komunikaciji, a bezvučni govor je govor koji je prisutan kada se prolaz zračnoj struji kroz glasnice potpuno zatvara te zapažamo vrlo niske energije i nepravilnosti. Možemo podijeliti šumnike (suglasnike) na zvučne (b, d, g, z, ž, đ, dž) i bezvučne (p, t, k, s, š, ć, č, f, h, c). Anatomski prikaz ljudske glave koji nam služi za lakše razumijevanje procesa nastajanja ljudskog glasa te koji organi imaju ulogu u njegovom nastanku prikazani su na Slici 4. Zrak dolazi iz pluća u grkljan u kojem se nalaze glasnice koji su glavni

proivođači zvuka. Tada zvučni val ulazi u gornji dio grla (ždrijelo) i zatim u usnu i nosnu šupljinu gdje se ton mijenja i zvučni valovi oblikuju (glavnu ulogu u tome imaju jezik, zubi, usne, nepce i čeljust).



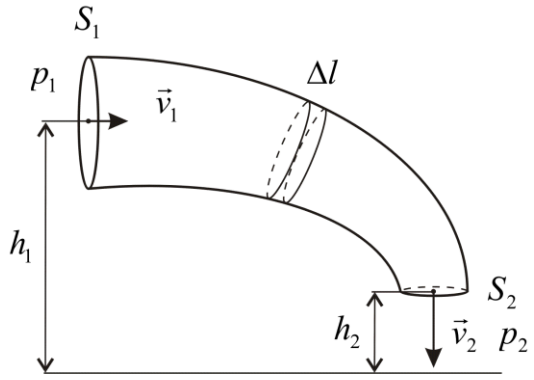
Slika 4: Anatomija ljudske glave. Na slici su prikazani grkljan, jednjak, otvor grkljana, jezičac, ždrijelo, jezik, usna šupljina, nepce, čeljust, usne, nosna šupljina [2].

7. MODIFIKATOR (FILTER)

Nakon što zvuk nastane, on se modificira (oblikuje), nakon čega se formiraju različite frekvencije i glas koji će izaći iz usne šupljine. Vrlo je bitan način na koji podešavamo opnu (membranu) koja se nalazi iza jezika. U normalnoj poziciji (kada je opna visoko) sav zrak i zvuk prolazi kroz usta, ako je spustimo niže povezat ćemo protok zraka nosne šupljine s usnom šupljinom. Funkcija i princip rada izvora i modifikatora zvuka vrlo je praktična te ona utječe na formiranje glasa, a također veliku ulogu u formiranju glasa ima geometrija vokalnog i nosnog trakta. Navedena se geometrija ne može mijenjati jer je ona kod svih ljudi ista, no ono što možemo napraviti da bismo utjecali na promjenu glasa je uz pomoć usne i nosne šupljine modificirati glas nakon što zrak zatitra glasne žice. Kada zrak krene iz pluća i dođe do grkljana, tada grkljan postaje izvor glasa koji će kasnije nastati. Zrak tada dolazi do glasnica, koje pri prolasku zatitraju i nastaje glas koji prolazi kroz usnu šupljinu. Zadatak usne šupljine, u kojoj se nalaze nepca (tvrdo i meko), zubi, usne itd. je da modificira glas koji će nastati, odnosno putem organa (elemenata) usne šupljine modificiramo glas po svojoj vlastitoj želji. Na upravo ovakav način ostvaruje se konekcija (povezanost) izvora i modifikatora.

8. POTEŠKOĆE PRI IZVEDBI EKSPERIMENTA U FIZICI LJUDSKOG GLASA

Ljudski glas još uvijek je u mnogome nepoznanica. Jedan od razloga tome je upravo poteškoća u izvedbi eksperimenata koji bi nam omogućili pobliže poznavanje elemenata i procesa uključenih u nastanak ljudskog glasa. Neki podaci koje bismo htjeli znati, npr. uloga geometrije usne šupljine kao modifikatora i detaljniji izgled vokalnog trakta, još uvijek su nam potpuno nejasni. To su podaci koje je nemoguće izmjeriti praktično kada je glas u upotrebi. O ljudskoj fiziologiji najviše podataka dolazi iz proučavanja životinjskih vrsta čiji organizmi funkcioniraju slično ljudskima. Kada govorimo o glasu, nemoguće je pronaći vrstu koja bi bila od velike pomoći pri proučavanju. Velik dio saznanja dolazi samo od proučavanja zvuka kojeg proizvede ljudski glas. Neka saznanja prikupljena su i s medicinskog aspekta. Jedan od pristupa proučavanja ljudskog glasa je i matematički. On proučava glasne žice kao skupine mase na izvorima (odnosno kao prepreke koje imaju masu i nalaze se na izvoru) i vokalni trakt kao nepravilan oblik cijevi koji prenosi zvuk. Na osnovu toga, može se riješiti Bernoullijeva jednadžba za jednostavan sustav i predvidjeti kakav bi zvuk mogao biti te provjeriti korelaciju s glasom govora i pjevanja. Jedan od pristupa je i izrađivanje umjetnog sustava koji će imati oblik vokalnog trakta i aeromehanički oscilator koji bi se postavio na položaj glasnica. Za detaljnije proučavanje matematičkog modela, najjasnije objašnjenje vokalnog trakta daje Bernoullijeva jednadžba. Kod Bernoullijeve jednadžbe promatra se stacionarni tok idealnog fluida kroz strujnu cijev nejednakog presjeka. Kada govorimo o glasu, možemo promatrati protok zraka iz pluća kroz glasnice, gdje zbog nejednakog položaja glasnica (negdje su uže, a negdje šire) dobivamo različite presjeke. Zbog lakšeg razumijevanja jednadžbe i samog izvoda Bernoulijeva cijev prikazana je na Slici 5.



Slika 5: Shematski prikaz Bernoullijeve cijevi [2].

Na slici uočavamo površinu poprečnog presjeka jednog (S_1), odnosno drugog (S_2) kraja cijevi. Tlakovi zraka u jednom i drugom kraju cijevi su p_1 i p_2. Visine pojedinih dijelova cijevi su h_1 i h_2, a Δl predstavlja pomak dijela volumena fluida. Zakon očuvanja energije nalaže da je zbroj kinetičke K i gravitacijske potencijalne energije U i izvedenog rada tlačne sile W jednak na položajima S_1 i S_2 (jednadžba 2). U jednadžbi koja slijedi trebamo razlikovati: masu fluida (m), visinu težišta poprečnog presjeka fluida (h), površinu poprečnog presjeka (S), gustoću tekućine (ρ) i statički tlak (p).

Zbroj kinetičke (K), gravitacijske potencijalne energije (U) i izvedenog rada tlačne sile (W) jednak je na položajima S_1 i S_2 (zbog zakona očuvanja energije) :

$$K_1 + U_1 + W_1 = K_2 + U_2 + W_2 \tag{2}$$

Zatim uvrštavamo izraze za kinetičku energiju, gravitacijsku potencijalnu i izvedeni rad tlačne sile:

$$\frac{\Delta m v_1^{\,2}}{2} + \Delta m g h_1 + p_1 S_1 v_1 \Delta t = \frac{\Delta m v_2^{\,2}}{2} + \Delta m g h_2 + p_2 S_2 v_2 \Delta t \tag{3}$$

Nakon toga pojednostavljujemo izraz:

$$\frac{\Delta m}{2}(v_1^{\,2} - v_2^{\,2}) = \Delta m g (h_2 - h_1) + p_2 S_2 v_2 \Delta t - p_1 S_1 v_1 \Delta t \tag{4}$$

Koristimo izraz za masu fluida:

$$\Delta m = \rho S v \Delta t \tag{5}$$

i izražavamo vrijeme protjecanja fluida:

$$\Delta t = \frac{\Delta m}{\rho S v} \tag{6}$$

Izraz (6) uvrštavamo u jednadžbu (4) i takvu jednadžbu množimo s $\frac{\rho}{\Delta m}$:

$$\frac{\Delta m}{2}(v_1^{\,2} - v_2^{\,2}) = \Delta m g (h_2 - h_1) + p_2 S_2 v_2 \frac{\Delta m}{\rho_2 S_2 v_2} - p_1 S_1 v_1 \frac{\Delta m}{\rho_1 S_1 v_1} \Bigg| \cdot \frac{\rho}{\Delta m} \tag{7}$$

Nakon množenja dobivamo:

$$\frac{\rho}{2}(v_1^{\,2} - v_2^{\,2}) = \rho g (h_2 - h_1) + p_2 - p_1 \tag{8}$$

U iduća dva koraka izrazit ćemo konačni oblik jednadžbe:

$$\frac{\rho v_1^{\,2}}{2} - \frac{\rho v_2^{\,2}}{2} = \rho g h_2 - \rho g h_1 + p_2 - p_1 \tag{9}$$

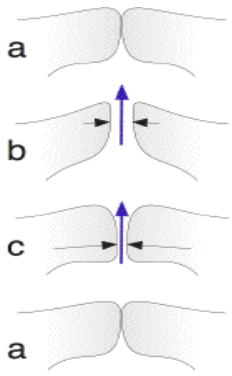
$$p_1 + \rho g h_1 + \frac{\rho v_1^{\,2}}{2} = p_2 + \frac{\rho v_2^{\,2}}{2} + p_2 \tag{10}$$

Općenito vrijedi:

$$p + \rho g h + \rho \frac{v^2}{2} = const. \tag{11}$$

Izraz (11) govori da je zbroj statičkog tlaka, hidrostatičkog tlaka i dinamičkog tlaka stalan (tlakovi predstavljaju energije po jedinici volumena).

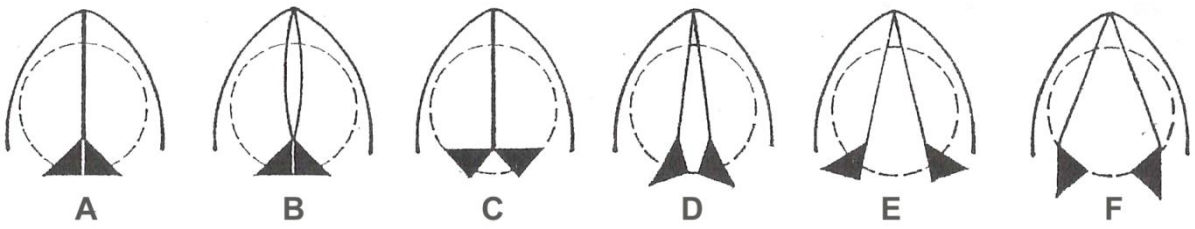
Slika 6. prikazuje glasnice, koje su negdje uže, a negdje šire i način na koji zrak prolazi kroz njih. Na mjestima na kojima su glasnice bliže, tlak zraka je veći. Kada su glasnice udaljenije, tlak je manji. Primjenjujući Bernoullijevu jednadžbu moguće je odrediti odnos brzine, tlaka i gustoće zraka pri strujanju kroz glasnice.



Slika 6: Prolaz zraka kroz glasnice u različitim položajima. Slika prikazuje raspon i mogućnosti stanja u kojima se glasnice mogu nalaziti; a) spojene (nema prolaska zraka), b) i c) bliže i dalje razmaknute [2].

9. BOJA ZVUKA I PJEVANJE

Variranje i modificiranje spektra glasa dio je treninga i vježbe svakog tko se bavi pjevanjem. Pjevači žele poboljšati energiju kod određenih frekvencija kako bi proizveli željeni zvuk. Žele proizvesti visoku razinu zvuka, a da pritom ne unose visoku količinu energije, odnosno proizvoditi glas različite kvalitete za postizanje različitih efekata. Karakteristični spektar glasa razlikuje se u svakoj tehnici i stilu pjevanja. Ako želimo pjevati ili glasno govoriti, koristimo prednost rezonancije vokalnog trakta kako bismo poboljšali učinkovitost kojom se energija prenosi od glotisa (razmak između glasnih žica) prema vanjskom zvučnom polju. Na Slici 7. Crni trokuti predstavljaju hrskavični dio grkljana, a iscrtkana kružnica predstavlja dušnik. Kad su glasne žice udaljene, one ne vibriraju, a zvukovi koje tako proizvedemo su nečujni. Ako imamo situaciju kao pod D, F i E, kada su glasnice suviše udaljene, tada će se zbog malog trenja čuti samo kratki šum. Na slikama A i C glasnice su čvrsto spojene i zrak ne prolazi kroz njih. Ako se glasnice nalaze kao pod B, tako da se dodiruju, dobit ćemo zvuk. Općenito, zvuk dobivamo kada se glasnice dodiruju ili kada se skoro dodiruju.

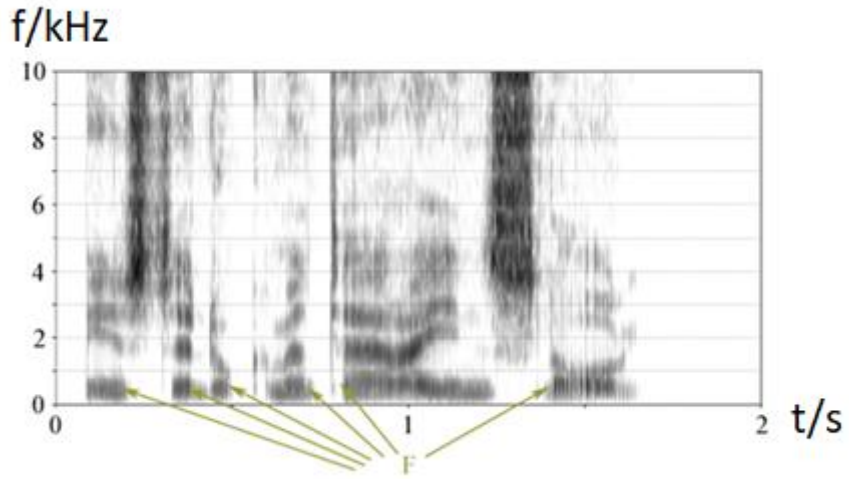


Slika 7: Razmak između glasnih žica. U ovisnosti o razmaku između glasnica, moguće je proizvesti zvukove različitih karatkeristika [2].

Neki govornici, poput glumaca, javnih govornika i učitelja moraju govoriti glasno i dugo. Za njih je podešavanje rezonancije nešto jednostavnije nego kod pjevača jer, za razliku od njih, imaju mogućnost samostalnog odabira frekvencije i amplitude za svaku izgovorenu riječ. Neka preliminarna istraživanja pokazala su da se podešavanje rezonancije koristi i u vikanju. Rezonancija se postiže kada se frekvencije vanjskog sustava (okoline) i frekvencija vala kojim nastaje glas moraju podudarati, odnosno da se učestalost vanjske sile koja uzrokuje titranje podudara s učestalošću rezonantne frekvencije sustava. U našem slučaju cijelo tijelo ima ulogu rezonatora. Glas koji nastaje odbija se u usnoj i nosnoj šupljini što doprinosi kvaliteti rezonancije.

10. FORMANTI

Formanti su koncentracije akustične energije koja se nalazi oko specifične frekvencije vala koji nastaje govorom. Postoji više vrsta formanata, nalaze se na različitim frekvencijama u intervalima od 1000 Hz. Svaki formant odgovara nekoj rezonanciji iz vokalnog trakta. Formanti se mogu lako vidjeti na širokopojasnom spektrogramu (Slika 8).

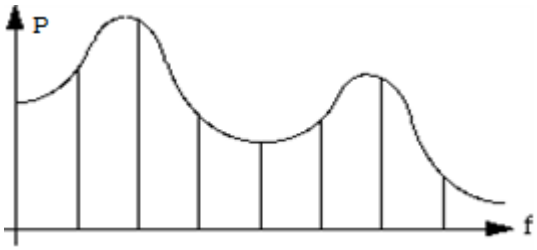


Slika 8: Prikaz širokopojasnog spektrograma. Na x-osi nalazi se vrijeme izraženo u sekundama dok se na y-osi nalaze frekvencije izražene u kHz. Crnom bojom označeni su formanti [5].

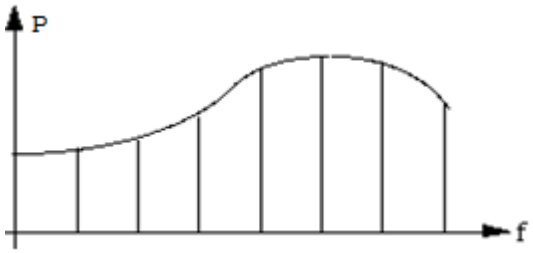
Tamniji formanti iz spektrograma reproduciraju više energije, snažniji su. Strelice (F) prikazuju 6 primjera najnižih formanata. Sljedeći formanti pojavljuju se odmah iznad, između 1 i 2 kHz, idući između 2 i 3 kHz itd. Kada pogledamo spektrogram, vidimo formante posvuda. Formanti se pojavljuju (i vidljivi su na spektrogramu) oko frekvencija koje odgovaraju rezonancijama vokalnog trakta.

11. HELIJ I GOVOR

Plin helija otprilike je pet puta teži od zraka i kada ga udahnemo kretat će se dosta sporije u odnosu na zrak kroz grkljan i uzrokovat će usporenu vibraciju glasnica. Isto tako, helij mijenja raspon frekvencija u kojima postoji apsolutni ili relativni maksimum u zvučnom spektru (formant). Helij neće promijeniti masu ili geometriju glasnih žica, ali će zato promijeniti boju glasa, što mu je i glavna karakteristika. U početku se čini da udahnuti helij mijenja stupanj dubine i visine glasa u govoru, ali to je samo iluzija, zapravo se samo mijenja boja glasa.



Slika 9: Graf koji prikazuje glasne žice napunjene zrakom. (P) predstavlja snagu, a (f) frekvenciju glasa [1].



Slika 10: Graf koji prikazuje glasne žice napunjene helijem. (P) predstavlja snagu, a (f) frekvenciju glasa [1].

Na Slici 9. ilustriran je graf koji prikazuje izgovoreni glas kada su glasne žice napunjene zrakom, a na Slici 10. graf koji prikazuje izgovoreni glas nakon udisanja helija. Apscisa predstavlja frekvenciju, a ordinata predstavlja snagu vala. Krivulje prikazuju spektar, a okomite linije harmonike vibracije glasnica. Harmonik je sinusoidalni doprinos određene frekvencije ukupnom periodičkom gibanju. U oba slučaja izgovorene su iste riječi. U drugom slučaju brzina zvuka je veća, što se vidi iz činjenice da se rezonancije, kao i formanti koje proizvode nalaze na visokim frekvencijama. Kod prvog grafa vidljiv je porast frekvencije, a s njom i snage, ali samo do nekog određenog iznosa, nakon kojega počinje opadati. Dakle, snaga ovisi o frekvenciji zvuka. Dubina

ili visina tona ovise o frekvenciji zvučnog vala, što se nije mijenjalo u ovom slučaju, kod glasa s udahnutim helijem imamo manje snage na niskim frekvencijama i zbog toga glas zvuči tanko i kreštavo. Cijele rečenice razumljive su zbog konteksta, ali kada bismo analizirali posebno samoglasnike, bilo bi nam teško raspoznati o kojem se točno radi.

12. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu na vrlo je jednostavan način prikazano kako nastaje ljudski glas, na koji se on način može oblikovati i koja su fizikalna objašnjenja pojedinih pojava pri govoru i pjevanju. Glas s fizikalne strane tumačimo kao prolaz zraka (koji putuje iz pluća) kroz glasnice, pri čemu one zatitraju. Zaključeno je da su ljudi jedina vrsta koja govori procesom opisanim u radu te da je on neusporediv s bilo kojom drugom vrstom. Isto tako, ljudski glas vrlo je kompleksna i široka tema te se stoga danas aktivno istražuje uz pomoć svih alata koji su dostupni znanstvenicima.

13. LITERATURA

[1] http://newt.phys.unsw.edu.au/jw/speechmodel.html, 2018.

[2] http://newt.phys.unsw.edu.au/jw/voice.html, 2018.

[3] http://www.fizika.unios.hr/~branko/of3.htm, 2016.

[4] http://boucek-ordinacija.com/images/template/serenity/images/grkljan1.jpg, 2018.

[5] http://person2.sol.lu.se/SidneyWood/praate/whatform.html, 2018.

14. ŽIVOTOPIS

Dejan Gemeri rođen je 17. svibnja 1994. u Vukovaru. Završio je Osnovnu školu Siniše Glavaševića u Vukovaru te potom pohađa Gimnaziju Vukovar koju završava 2013. godine. Trenutno je student Odjela za fiziku na Sveučilištu Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.