

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
EDUKACIJSKO-REHABILITACIJSKI FAKULTET



**OSNOVE FIZIOLOŠKE I GOVORNE AKUSTIKE
(PREDAVANJA ZA STUDENTE LOGOPEDIJE)**

PRIREDIO:
MLADEN HEĐEVER

ZAGREB, 2012.

SADRŽAJ

1. UVOD	12
1.1. PROCESIRANJE GOVORA	13
1.1.1. PREPOZNAVANJE GOVORA.....	14
1.1.2. PREPOZNAVANJE GOVORNIKA	14
1.1.3. KODIRANJE GOVORA	15
1.1.4. SINTETIZIRANJE GOVORA	15
2. OPĆI POJMOVI O ZVUKU	17
2.1. MEHANIČKO TITRANJE	18
2.2. FREKVENCIJA	19
2.2.1. ČUJNI ZVUK.....	20
2.2.2. INFRAZVUK.....	20
2.2.2.1. VIBROAKUSTIČKA BOLEST.....	21
2.2.3. ULTRAZVUK.....	22
2.3. BRZINA ŠIRENJA ZVUKA.....	22
2.4. INTENZITET	22
2.4.1. DECIBEL.....	23
2.5. VALNA DULJINA	25
2.6. VRSTE ZVUKOVA	25
2.6.1. ČISTI TON	25
2.6.2. SLOŽENI ZVUK.....	26
2.6.3. ŠUM.....	27
3. OBRADA ZVUKA POMOĆU RAČUNALA.....	28
3.1. DIGITALIZACIJA ZVUKA.....	28
3.1.1. UZORKOVANJE (SEMPLIRANJE)	29
3.1.1.1. REZOLUCIJA UZORKOVANJA	29
3.1.2. KVANTIZIRANJE	30
3.1.3. KODIRANJE	30
3.2. VRSTE DIGITALNIH AUDIO ZAPISA.....	30
3.2.1. WAV FORMAT	31
3.2.2. MP3 FORMAT	31

3.3. SNIMANJE I OBRADA ZVUKA.....	32
3.3.1. OSNOVNI OPIS I SADRŽAJ KOMANDI	33
3.3.2. SNIMANJE ZVUKA.....	34
3.3.3. SPEKTRALNA ANALIZA ZVUKA.....	34
3.3.4. VREMENSKA ANALIZA	35
4. ARHITEKTONSKA AKUSTIKA.....	37
4.1. NEKE POJAVE KOD ŠIRENJA ZVUKA	39
4.1.1. REFLEKSIJA	39
4.1.2. OGIB ZVUKA (DIFRAKCIJA, SKRETANJE).....	39
4.1.3. APSORPCIJA (UPIJANJE ZVUKA)	39
4.1.4. REZONANCIJA	39
4.1.5. DISTORZIJA (IZOBLIČENJE ZVUKA).....	39
5. ELEKTROAKUSTIKA.....	40
5.1. MIKROFONI.....	40
5.2. ZVUČNICI	45
5.3. FILTRI	47
5.3.1. TIPOVI FILTERA	48
5.3.2. ODREĐIVANJE KARAKTERISTIKA FILTERA.....	49
5.3.4. POSEBNE IZVEDBE FILTERA	50
5.3.4.1. TON-BLENDI ("LEPEZA").....	50
5.3.4.2. EKVALIZATOR (EQUALISER - EKVALIZER).....	50
5.3.4.3. PARAMETARSKI EKVALIZATOR.....	51
7. FIZIOLOŠKA I SLUŠNA AKUSTIKA	52
7.1. SLUŠNO POLJE	53
7.1.1. PRAG SLUHA.....	55
7.1.2. PRAG BOLI.....	56
7.2. ISPITIVANJE SLUHA.....	56
7.2.1. SLUŠNI PRAG I AUDIOMETRIJA.....	56
7.2.2. AUDIO - TEST	57
7.2.2.1. NORME AUDIO-TEST-A.....	58
7.3. OŠTEĆENJA SLUHA.....	59

7.3.1. STUPNJEVI OŠTEĆENJA SLUHA	59
7.3.2. SIMPTOMI OŠTEĆENJA SLUHA KOD ODRASLIH	60
7.3.3. SIMPTOMI OŠTEĆENJA SLUHA KOD DJECE (ŠKOLSKI UZRAST)	60
7.3.4. SIMPTOMI OŠTEĆENJA SLUHA KOD DJECE (PRVA GODINA ŽIVOTA)	61
7.3.4.1. Od rođenja do kraja 4. mjeseca starosti	61
7.3.4.2. Od početka 5. do kraja 8. mjeseca starosti	61
7.3.4.3. Od početka 8. mjeseca do navršene prve godine	61
7.4. NEKI OD MOGUĆIH UZROKA OŠTEĆENJA SLUHA U ODRASLOJ DOBI	62
7.5. FAKTORI KOJI SU ŠTETNI ZA SLUH	62
7.6. OŠTEĆENJE SLUHA I PERCEPCIJA GOVORA	63
7.7. KOMUNIKACIJSKA POMAGALA ZA OSOBE OŠTEĆENA SLUHA	64
7.7.1. INDUKTIVNA PETLJA	65
7.7.2. INFRA CRVENI SUSTAV (IC)	67
7.7.3. FM SUSTAV	67
7.7.4. ZAKLJUČAK	68
8. PSIHOAKUSTIKA	69
8.1. PERCEPCIJA ZVUKA	70
8.1.1. PERCEPCIJA GLASNOĆE ZVUKA	70
8.1.2. FON I SON	71
8.1.3. PERCEPCIJA VISINE ZVUKA	73
8.1.4. PERCEPCIJA BOJE ZVUKA	74
8.2. PERCEPCIJA GOVORA	75
8.2.1. SNAGA I DINAMIKA GOVORA	75
8.2.2. FREKVENCIJSKI OPSEG GOVORA	75
8.2.3. PERCEPCIJA GLASOVA I NJIHOVE FREKVENCIJE	75
8.3. PERCEPCIJA GOVORA I OŠTEĆENJE SLUHA	76
8.4. VIZUALNA PERCEPCIJA GOVORA	77
8.5. PROPRIOCEPCIJA	78
8.6. PERCEPCIJA ZVUKA I STARENJE	78
8.6.1. STAROSNA DOB I SLUH	79
8.7. INTELIGIBILITET – RAZUMLJIVOST GOVORA	79
8.8. SLUŠNO PROCESIRANJE	86

8.9. SLUŠNO I JEZIČNO PROCESIRANJE	87
8.10. POREMEĆAJI SLUŠNOG PROCESIRANJA	88
8.10.1. UZROCI POREMEĆAJA SLUŠNOG PROCESIRANJA	89
8.10.2. KARAKTERISTIKE PSP	89
8.10.3. PODTIPOVI POREMEĆAJA SLUŠNOG PROCESIRANJA	91
8.10.4. PSP I DRUGE TEŠKOĆE	92
8.10.4.1. PSP I ADHD	92
8.10.4.2. PSP, FONOLOŠKI I ARTIKULACIJSKI POREMEĆAJI	93
8.10.4.3. PSP I JEZIČNE TEŠKOĆE	93
8.10.4.3.1. PSP i posebne jezične teškoće	94
8.10.4.4. PSP I POREMEĆAJI ČITANJA	94
8.10.4.5. PSP, MEMORIJA I PAŽNJA	95
9. GOVORNA AKUSTIKA	96
9.1. GOVORNI TRAKT	96
9.1.1. DIŠNI ORGANI	96
9.1.1.1. VRSTE DISANJA	99
9.1.2. ORGANI ZA GLASANJE	100
9.1.2.1. GLASNICE	100
9.1.2.1.1. Osnovni laringealni ton	101
9.1.2.2. AKUSTIKA FONACIJE	101
9.1.3. IZGOVORNI ORGANI	103
9.1.3.1. REZONANTNE ŠUPLJINE VOKALNOG TRAKTA	104
9.1.3.1.1. Ždrijelna (faringealna) šupljina	104
9.1.3.1.2. Usna (oralna) šupljina	104
9.1.3.1.3. Nosna (nazalna) šupljina	104
9.2. SPEKTAR GOVORA	104
9.2.1. FFT SPEKTAR	105
9.2.2. LPC SPEKTAR	105
9.2.3. SREDNJI DUGOTRAJNI SPEKTAR (LTASS)	107
9.2.4. SPEKTROGRAM GOVORA	108
9.3. REZONANCIJA I FORMANTI	108
9.3.1. SOURCE – FILTER MODEL	109

9.3.2. REZONANCIJA	111
9.3.3. HARMONICI	111
9.3.4. FORMANTI	112
9.4. ARTIKULACIJA.....	115
9.4.1. ARTIKULACIJA GLASOVA	117
9.4.2. AKUSTIČKE OSOBINE GLASOVA.....	118
9.4.3. KOARTIKULACIJA	121
9.4.4. POREMEĆAJI ARTIKULACIJE.....	123
9.4.4.1. UČESTALOST POREMEĆAJA ARTIKULACIJE.....	125
9.4.4.2. ETIOLOGIJA	125
9.5. PROZODIJA.....	126
9.6. DIJADOHOKINEZA.....	126
10. AKUSTIKA GLASA	128
10.1. VISINA GLASA	128
10.2. INTENZITET GLASA	129
10.3. BOJA GLASA.....	129
10.4. MIJENE GLASA	130
10.5. PERTURBACIJE GLASA.....	131
10.5.1. JITTER I SHIMMER.....	131
10.5.2. VIBRATO I TREMOR	132
10.5.3. DIPLOFONIJA	133
10.6. HNR OMJER.....	134
11. LITERATURA	135
12. KAZALO POJMOVA	142

POPIS SLIKA

Slika 1. Valovi na vodi.....	18
Slika 2. Jednostavno harmonijsko titranje	18
Slika 3. Mehaničko titranje - gibanje molekula	19
Slika 4. Gibanje molekula u prostoru.....	19
Slika 5. Težinske krivulje.....	24
Slika 6. Sinusoidni valni oblik čistog tona.....	25
Slika 7. Trokutasti ("pilasti") valni oblik čistog tona	25
Slika 8. Četvrtasti ("kvadratičan") valni oblik čistog tona	25
Slika 9. Čisti tonovi.....	26
Slika 10. Složeni zvuk: sumirani čisti tonovi iz prethodnog primjera.....	26
Slika 11. Prikaz spektralne energije bijelog i ružičastog šuma.....	27
Slika 12. Proces digitalizacije	28
Slika 13. Prikaz programa Cool Edit Pro 2.0.....	33
Slika 14. Osnovni raspored komandi Cool Edit-a.....	33
Slika 15. Definiranje parametara snimanja zvuka	34
Slika 16. Odabir dijela zvuka i njegova frekvencijska analiza	34
Slika 17. Prikaz spektra.....	35
Slika 18. Zumiranje dijela signala i očitavanje vremenskih parametara.....	36
Slika 19. Glasnoća govora mjerena u SPL dB na udaljenosti na 1 metar od govornika.....	37
Slika 20. Optimalan kut razmještaja slušača u odnosu na govornika	37
Slika 21. Primjeri postizanja dobre razumljivosti slušanja govora.....	38
Slika 22. Primjer postavljanja ozvučenja za postizanje dobre razumljivosti govora.....	38
Slika 23. Shematski prikaz elektro-dinamičkog mikrofona.....	41
Slika 24. Shematski prikaz elektro-kondenzatorskog mikrofona	42
Slika 25. Elektrokondenzatorski mikrofoni Behringer B-5	42
Slika 26. Polarni dijagram.....	43

Slika 27. Polarni dijagram - kardioidni mikrofon	43
Slika 28. Polarni dijagram - omnidirekcionalni mikrofon	43
Slika 29. Polarni dijagram – super/hiper kardioidni mikrofon	43
Slika 30. Frekvencijska karakteristika mikrofona s obzirom na kut dolaska zvuka	44
Slika 31. Frekvencijska karakteristika mjernog mikrofona	44
Slika 32. Kalibrator mjernog mikrofona i mjerni mikrofon.....	45
Slika 33. Elektrodinamički zvučnik	45
Slika 34. Presjek (shema) elektrodinamičkog zvučnika	46
Slika 35. Elektrodinamičke slušalice	46
Slika 36. Nisko-propusni filter - propušta niske frekvencije do gornje granične frekvencije	48
Slika 37. Visoko-propusni filter - propušta visoke frekvencije do donje granične frekvencije.....	48
Slika 38. Pojasni propusni filter	48
Slika 39. Pojasni zaporni filter	48
Slika 40. Posebna izvedba zapornog filtra (Notch filter 50 Hz)	49
Slika 41. Određivanje područja (pojasa) djelovanja filtra	50
Slika 42. Filter – ton blenda ("lepeza")	50
Slika 43. Grafički poluoktavni equaliser (ekvilizator).....	51
Slika 44. Parametarski ekvilizator	51
Slika 45. Slušno područje (polje) zdravog sluha.....	54
Slika 46. Izofone - krivulje jednake glasnoće	54
Slika 47. Dijagram slušnog praga dobiven pomoću AUDIO-TEST-a (Heðever, 2007)	55
Slika 48. Mogućnost percepcije glasova kod umjerenog oštećenja sluha	63
Slika 49. Ne/mogućnost percepcije vokala i konsonanta kod umjerenog oštećenja sluha	64
Slika 50. Oznake induktivne petlje	65
Slika 51. Shematski prikaz postavljanje induktivne petlje	66
Slika 52. Odnos fona i sona prikazan pomoću skale.....	72
Slika 53: Grafički prikaz glasnoća izraženih u fonima i sonima	72

Slika 54. Raspored glasova u čujnom području.....	76
Slika 55. Mogućnost percepcije glasova kod umjerenog oštećenja sluha	77
Slika 56. Raspored vokala i konsonanta te njihova percepcija kod umjerenog oštećenja sluha.....	77
Slika 57. Frekvencijski i intenzitetski raspon vokala i konsonanta	83
Slika 58. Vokalni trakt	97
Slika 59. FFT spektar ljudskog glasa (fonacija vokala /A/)... ..	105
Slika 60. LPC spektar ljudskog glasa (fonacija vokala /A/ iz prethodnog primjera).....	106
Slika 61. LPC spektar izračunava se iz FFT spektra.....	106
Slika 62. LTASS (Long Tterm Average Speech Spectrum).....	107
Slika 63. Sonogram (spektrogram) govora	108
Slika 64. Source – Filter Model	109
Slika 65. Source – Filter Model primijenjen na vokalni trakt.....	109
Slika 66. Rezonancija muškog i ženskog vokalnog trakta.....	110
Slika 67. Dva muška govornika izgovaraju vokale.....	112
Slika 68: FFT spektar (vidljivi harmonici) i LPC spektar (vidljivi formanti) istoga zvuka	113
Slika 69. Nastanak formanata u tubi (primjer za vokalni trakt).....	113
Slika 70. Zvuk titranja glasnica na oscilogramu	131
Slika 71. Prikaz jittera i shimmera na oscilogramu	132
Slika 72. Vibrato u pjevanju	132
Slika 73. Tremor u glasu (amplituda - zelena a fundamentalna frekvencija – plava linija)	133
Slika 74. Diplofonija u glasu.....	134
Slika 75. Omjer (odnos) signal/šum (HNR – Harmonics/Noise Ratio).....	134

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prefiksi mjernih jedinica prema međunarodnim normama.....	17
Tablica 2. Primjeri čujnog frekvencijskog raspona za neke životinje i čovjeka.....	22
Tablica 3. Prikaz decibela i odnos zvučnih tlakova za neke zvukove	23
Tablica 4. Frekvencija uzorkovanja i kvaliteta zvuka.....	29
Tablica 5. Kvaliteta zvuka, broj bita i uzorkovanje	32
Tablica 6. ISO norme za audiometriju (frekvencije i njihovi intenziteti).....	54
Tablica 7. Norme AUDIO-TESTA.....	58
Tablica 8. Prikaz odnosa mjernih jedinica za subjektivni osjećaj glasnoće: fon i son.	72
Tablica 9. Povišenje slušnog praga kod starijih osoba u odnosu na normu (dB)	79
Tablica 10. Poremećaji i pripadajući simptomi i ponašanja karakteristična za PSP.....	91
Tablica 11. Usporedba ADHD-a i poremećaja slušnog procesiranja	93
Tablica 12. Razlike između jezičnog i slušnog poremećaja procesiranja (Richards, 2001).....	94
Tablica 13. Visine pjevačkih glasova	129

PREDGOVOR

Prva verzija ove skripte nastale je još 1997. god. u koautorstvu s Gordanom Kovačić (Heđever, Kovačić, 1997). U tadašnjoj skripti korišten su dijelovi teksta s općim podacima o respiraciji i glasu iz diplomskog rada Kovačić (1997) a to je u manjoj količini ostalo i ovom proširenom i doradenom materijalu. Ova je verzija izmijenjena i dopunjena, neki su sadržaji skraćeni ili izbačeni, neki prošireni a dodani su i neki novi. Ovaj je skripta doživjela dosta promjena i dopuna pa stoga više nisu navedena oba autora prve skripte već ovu skriptu treba smatrati kao sakupljeni i objedinjeni materijal iz različitih izvora kojega je sakupio, napisao i uredio M. Heđever (više od 90% materijala ove skripte). Namjena je ove skripte da prvenstveno studentima logopedije olakša praćenje nastave iz kolegija "Osnove fiziološke i govorne akustike".

1. UVOD

Iako je akustika s aspekta fizike i matematike vrlo egzaktna znanost, mnoge situacije u akustici su podjednako psihološke koliko i fizikalne prirode. To se naročito odnosi na govor i glazbu. Govor kao zvučna pojava počinje se sustavno proučavati još prije II. Svjetskog rata iako povijest akustike seže znatno ranije. Prva mjerenja u akustici javljaju se u 16. i 17. st., a odnose se na mjerenja brzine zvuka. Godine 1876. Alexander Graham Bell (1847. - 1922.), američki fizičar i izumitelj škotskog podrijetla, izumio je telefon. Međutim, telefon se počinje komercijalno koristiti tek početkom 20. st. 1920. god. kada su u Bell Telephone Laboratories konstruirane prve slušalice koje su mogle zadovoljiti minimalne uvjete za reprodukciju govora i glazbe (do 4000 Hz), a povezivanje slušalica s lijevkom (oblik trube), omogućilo je pojavu zvučnika. U 20. st. započinju i prva ozbiljna mjerenja zvuka na području arhitektonske i fiziološke akustike. Godine 1946. u Bell-ovim laboratorijima konstruiran je prvi tzv. "Visible speech analyzer". Zanimljivo je da je analizator konstruiran s namjerom da gluhim osobama prikaže govor kao sliku, da ga vizualizira. Tako se prvi analizatori još nazivaju i translatori (visible speech translator) – "prevodioci za gluhe" (Bellova supruga bila je gluha). Međutim tijekom vremena analizatori su se počeli koristiti prvenstveno za razna mjerenja i analize zvuka, a ne kao pomagalo gluhim osobama.

Fiziološka akustika proučava kako (govorni) zvuk proizvodimo i kako ga percipiramo. Osnovni zvuk glasa nastaje u larinksu prolaskom zračne struje i istovremenim treperenjem glasnica. Zvuk prvenstveno percipiramo uhom (ali i ekstra-auditivnim osjetima: taktilno i kinestetski). S aspekta percepcije možemo govoriti o tri osnovne osobine nekog zvuka. To su:

1. jačina,
2. visina,
3. boja zvuka.

Govorna akustika je grana akustike koja se bavi proučavanjem:

1. govorne produkcije (proizvodnje) (speech production)
4. govorne percepcije (speech perception)

Bavimo li se proučavanjem govora na nivou izoliranoga glasa, bilo šire, svaki je element govora bolje promatrati kao segment šire cjeline, sloga, riječi ili rečenice. Govor je kontinuirani proces u vremenu i njegove elemente treba promatrati kao segmente koji su dio veće cjeline. Takvom ćemo analizom dobiti vjernije karakteristike izoliranih segmenata uzetih iz kontinuuma.

Izuzmemo li jezičnu stranu govora, ne zato što bi bila manje značajna, već zato što nije predmet

ovoga udžbenika, možemo kazati da je govor kao zvučna pojava *rezultat djelovanja četiriju procesa*:

- respiracije,
- fonacije,
- rezonancije,
- artikulacije.

Njihovim simultanim i sinkroniziranim djelovanjem nastaje govor. To je kontinuum promjena, stapanja i prelijevanja zvukova i pokreta u vremenu. "Svi su govorni događaji vremenski. Neki se od njih međutim događaju u vremenu, a drugi događaju vrijeme." (Škarić, 1991, 213).

Ako istražujemo zvučni govor, a naročito njegove poremećaje, nužno je istraživanje spektralnih, intenzitetskih i vremenskih segmenata govora. Može se pretpostaviti da se većina govornih poremećaja manifestira, pored ostalog, i u specifičnim promjenama određenih vremenskih segmenata. Katkada su te promjene vidljive samo na "makro-segmentima" (dugim vremenskim odsječcima, u trajanju od nekoliko minuta), a katkada se promjene događaju u "mikro-segmentima" govora i mjere se u mili-sekundama, a mogu biti kraće čak i od samoga glasa. Ove promjene nisu uvijek značajne zbog svoje zvučkovne realizacije koju ponekad niti ne percipiramo, ali njihovo otkrivanje i analiziranje može pridonijeti cjelovitijem sagledavanju fenomenologije i etiologije pojedinih poremećaja, što je i cilj ovoga istraživanja.

Svaki govorni iskaz ima svoj sadržaj i formu. Poremećen sadržaj ukazuje najčešće da se radi o poremećaju jezika (npr. senzorna afazija). Međutim, ako je poremećena forma govora, znači da je poremećen neki od četiri spomenuta procesa. Svi ovi procesi sudjeluju u realizaciji govornoga zvuka, a pažljivom i preciznom akustičkom analizom govora moguće je utvrditi koji su procesi sudjelovali u oblikovanju pojedinih segmenata govornoga zvuka.

Tijekom zadnja četiri desetljeća učinjen je značajni napredak u istraživanju govorne produkcije i percepcije. Te spoznaje pomogle su razvoju i praktičnoj primjeni novih tehnologija u području govornog procesiranja (kodiranje, prepoznavanje i sintetiziranje govora). Ova su istraživanja interdisciplinarna i obuhvaćaju široki krug znanstvenih područja: akustiku, elektrotehniku, informatiku, lingvistiku, psihologiju, logopediju i dr.

1.1. PROCESIRANJE GOVORA

Interdisciplinarna istraživanja gotovo svakodnevno unapređuju istraživanja govora a osobito zahvaljujući napretku akustike, elektrotehnike i informatike. Stoga se ova istraživanja ne mogu izostaviti u radovima koji se bave govornom akustikom. Kao što je već spomenuto u uvodu, primjena novih tehnologija dovela je do značajnog razvoja u području govornog procesiranja.

Govorno procesiranje (speech processing, obrada govora) proučava sljedeće aspekte:

1. prepoznavanje govora (speech recognition), bavi se analizom jezičnog sadržaja govornog signala,
5. prepoznavanje govornika (speaker recognition), bavi se prepoznavanjem govornika (pojedine osobe) na temelju njegova govora,
6. kodiranje govora (speech coding), bavi se oblicima kompresije (sažimanja) govornog signala, važno je u telekomunikacijskom području,
7. sintetiziranje govora (speech synthesis): stvaranje umjetnog govora, najčešće pomoću računala,
8. poboljšanje razumljivosti govora (inteligibilitet), odnosi se na unapređenje razumljivosti i perceptivne kvalitete govornog signala (npr. smanjenje šuma audio signala, filtriranje audio signala i sl.).

1.1.1. PREPOZNAVANJE GOVORA

Kako je govorna komunikacija jedna od najznačajnijih ljudskih aktivnosti, tako je i istraživanje govora doseglo fascinantne razmjere. Osim sintetičkog, strojnog govora veliki broj istraživanja bavi se mogućnošću prepoznavanja ljudskog govora pomoću stroja. Sve se to radi s ciljem da se omogući direktna komunikacija govorom između čovjeka i stroja. Prva su se istraživanja bavila eksperimentima u kojima je stroj (računalo) mogao prepoznati određeni broj izoliranih riječi određenog govornika. Današnja se bave problemom na koji način stroj može prepoznati riječi u normalnom govoru bilo kojeg (nepoznatog) govornika.

Prvi eksperimenti imali su za cilj prepoznati akustička obilježja nepoznate riječi na temelju unaprijed memoriranih referentnih vrijednosti poznatih riječi. Pri tome su korištene filtarske analize da bi se došlo do akustičkih parametara. Kasnije se prešlo na uporabu linearnog prediktivnog kodiranja, ali se i ova metoda pokazala neuspješnom u prepoznavanju govora. Jedan od osnovnih problema bila je promjenjiva brzina fluentnog govora (trajanje pojedinih segmenata govora ovisilo je o fonetskom kontekstu, prozodiji, govorniku itd.). Da bi se mogla vršiti strojna analiza govora trebalo je normalizirati vremensku varijablu u govoru. Sljedeći je problem bio u pronalaženju karakterističnih istoznačnica koje će biti neovisne o govorniku. Jedan od najboljih i najpopularnijih modela koji se koriste u prepoznavanju govora je "Markovljev proces" koji se još naziva prikriveni Markovljev model (HMM - Hidden Markov Model).

1.1.2. PREPOZNAVANJE GOVORNIKA

Prepoznavanje govornika (speaker recognition), bavi se prepoznavanjem govornika (pojedine

osobe) na temelju njegova govora. Danas postoji niz računalnih aplikacija i uređaja koji se koriste za identifikaciju (prepoznavanje) određene osobe na temelju njenog govora. Svrha ovoga može biti različita. Danas se sve češće prepoznavanje govornika koristi u forenzičkim znanostima kako bi se temeljem snimke govora otkrilo kojem govorniku pripada taj govor. To je vrlo važno u različitim sudskim postupcima, u borbi protiv kriminala, terorizma i sl. Druga je mogućnost primjene da govor služi kao vrsta identifikacije pojedine osobe. Npr. danas se kao vrsta zaštite pri ulasku u različite tvrtke, osobito ako tvrtke (ili institucije) imaju vrlo povjerljive podatke ili vrste poslova koji ne smiju biti dostupni bilo kome, uvodi se, između ostaloga, identifikacija glasom, otiskom prsta (prst se položi na poseban optički senzor) te video snimka osobe. Višestruka provjera (identifikacija) smanjuje mogućnost pristupa nepoznate ili nepoželjne osobe u takve zaštićene prostore.

1.1.3. KODIRANJE GOVORA

U posljednjem kvartalu dvadesetog stoljeća započela je era kodiranja govora. Veliki napredak u procesiranju govora nastaje s uvođenjem digitalne tehnologije u istraživanja. Prilikom digitaliziranja govora tj. pretvaranja akustičkog govornog signala iz analognog u digitalni oblik, bitna su tri parametra: uzorkovanje (sampling), kvantiziranje (quantization) i kodiranje (coding). Uzorkovanje vrši pretvorbu kontinuiranog vremenskog signala u niz diskretnih vremenskih elemenata, a što je uzorkovanje brže to će digitalni signal biti kvalitetniji i sličniji analognom. Teoretski, frekvencija uzorkovanja mora biti dvostruko veća od najviše frekvencije analognog signala (npr. ako naši najviši glasovi S, Z i C dosežu 12 kHz, moramo ih uzorkovati s minimalno 24 kHz). Kvantizacijom se konvertiraju kontinuirane promjene amplituda analognog signala u diskretne vrijednosti a kodiranjem se kvantizirane vrijednosti pretvaraju u nizove binarnih brojeva - kodova. Ovakvom konverzijom su vrlo dobro sačuvane sve komponente analognog signala. Zahvaljujući kodiranju govornog signala moguće je prirodni govor pretvoriti u digitalni signal a isto tako je moguć i suprotan proces da se iz digitalnog oblika stvara govorni zvuk (sintetiziranje govora).

1.1.4. SINTETIZIRANJE GOVORA

Nakon prvih mehaničkih modela kojima se pokušalo proizvesti (imitirati) ljudski glas, danas je sintetički govor već u normalnoj primjeni na mnogim područjima (govorni čitači za slijepe, elektronska pošta i komunikacije, personalna računala, istraživanja i eksperimenti na području slušanja i govora). Tri su osnovna načina dobivanja sintetičkog govora. Prvi je najjednostavniji, a zasniva se na kopiranju analognih prirodnih obrazaca govora koji su memorirani i pridodati

određenim tekstualnim ili slikovnim obrascima (*sintetiziranje govora kopiranjem*). Ovaj se način sintetiziranje više ne koristi. Drugi se način (*artikulacijsko sintetiziranje*) dobivanja sintetičkog govora temelji se na fizičkom modelu vokalno-artikulacijskog trakta uzimajući u obzir sve njegove fizikalne i akustičke korelate. I ovaj model je uglavnom više poslužio za akustičke demonstracije proizvodnje govora ali nije imao praktičnu primjenu. Treći, danas prihvaćeni model, opisao je Klatt (1987), a zasniva se na formantskom sintetiziranju govora (*formantsko sintetiziranje*) (Holmes, 1983). Ovaj model za sada je najsavršeniji i omogućava dobru manipulaciju akustičkih parametara govora. Što više, ovaj model se toliko usavršio da omogućava generiranje sintetičkog govora visoke kvalitete. Govor je vrlo sličan prirodnom ljudskom govoru, a može se oponašati spol, dob ili dijalekt govornika, pa čak i govorni poremećaji (Klatt i Klatt, 1990). Danas je sintetički govor sastavni dio svih računala koja rade pod Windows sučeljem a formantska sinteza jedna je od temeljnih tehnika sintetiziranja govora.

Razvojem računalne tehnologije danas se bez problema može izvršiti direktna konverzija pisanog slova u pripadajući fonem, poštujući pri tome i određena prozodijska pravila (Allen, 1976; Klatt, 1987). Daljnji napredak u približavanju prirodnom govoru došao je s razvojem tzv. multifonskih jedinica, koje su objedinjavale skupine glasova (npr. konsonant-vokal, konsonant-vokal-konsonant ili vokal-konsonant-vokal), a ovakvi sintetizirani elementi govora omogućavali su vjerniju realizaciju kontinuiranog govora.

2. OPĆI POJMOVI O ZVUKU

Zvuk definiramo kao čujno titranje u plinovitim, tekućim i krutim elastičnim tvarima koje ima dovoljan intenzitet da bi ga čovjek mogao čuti. Ljudsko zdravo uho čuje frekvencije od 16 Hz do 20 kHz (ovo vrijedi samo za mlađe osobe do 20. godine starosti). Frekvencije ispod 16 Hz ne percipiramo kao zvuk već kao vibraciju (potresanje) a to su frekvencije u području infrazvuka. Frekvencije iznad 20 kHz nazivamo ultrazvučnim frekvencijama.

U opisu različitih fizikalnih veličina kojima se prikazuju neke karakteristike zvuka ili elektroakustičkih uređaja ili pojava koriste se različite mjerne jedinice. Često puta su te veličine zbog prikladnosti iskazane u većim ili manjim jedinicama. Tako se npr. većim jedinicama od nominalne dodaju prefiksi kilo, mega, giga, tera a manjima deci, centi, mili, mikro, nano, piko... Tako se na primjer intenzitet zvuka češće iskazuje u **decibelima**, frekvencije u **kilohercima** ili **megahercima**, kapacitet kondenzatora u mikro, nano ili **pikofaradima** a veličina memorije tvrdog diska u računalu u mega, giga ili **terabajtima**. Siva polja označavaju jedinice koje su u čestoj svakodnevnoj uporabi.

Tablica 1. Prefiksi mjernih jedinica prema međunarodnim normama

Prefiks	Znak	Vrijednost
jota	Y	10^{24}
zeta	Z	10^{21}
eksa	E	10^{18}
peta	P	10^{15}
tera	T	10^{12}
giga	G	10^9
mega	M	10^6
kilo	k	10^3
hekto	h	10^2
deka	da	10
deci	d	10^{-1}
centi	c	10^{-2}
mili	m	10^{-3}
mikro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
piko	p	10^{-12}
femto	f	10^{-15}
ato	a	10^{-18}
zepto	z	10^{-21}
jokto	y	10^{-24}

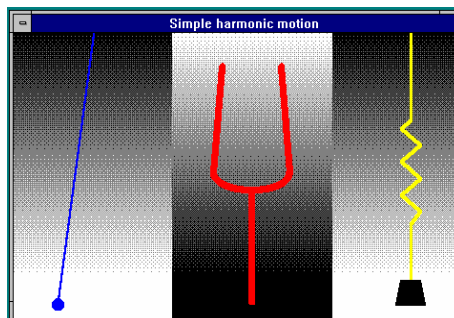
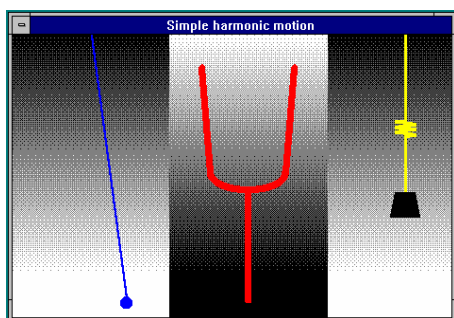
2.1. MEHANIČKO TITRANJE

Zvuk u elastičnim tvarima nastaje titranjem čestica toga tijela pod utjecajem mehaničke energije (brza izmjena kinetičke i potencijalne energije). Elastičnost tvari dozvoljava pomak njihovih čestica iz stanja ravnoteže (mirovanja). Prvo se javlja pomak čestica od izvora zvuka prema periferiji zbog čega na mjestu gdje su čestice mirovale nastaje njihovo razrjeđenje (u zraku se to manifestira kao pod-tlak), a prema periferiji nastaje gušćenje čestica (nad-tlak). Zbog sila elastičnosti čestice se nastoje vratiti u položaj ravnoteže, ali će zbog inercije (ustrajnosti gibanja) otići na suprotnu stranu (poput klatna na satu) te će ponovo izazvati novo gušćenje i razrjeđenje. Pojava se lančano prenosi i na sve susjedne čestice (poput valova na vodi kada bacimo kamen, ali s tom razlikom da se zvučni val širi u prostoru, trodimenzionalno, poput kugle, a valovi na vodi šire se dvodimenzionalno, kao koncentrične kružnice).

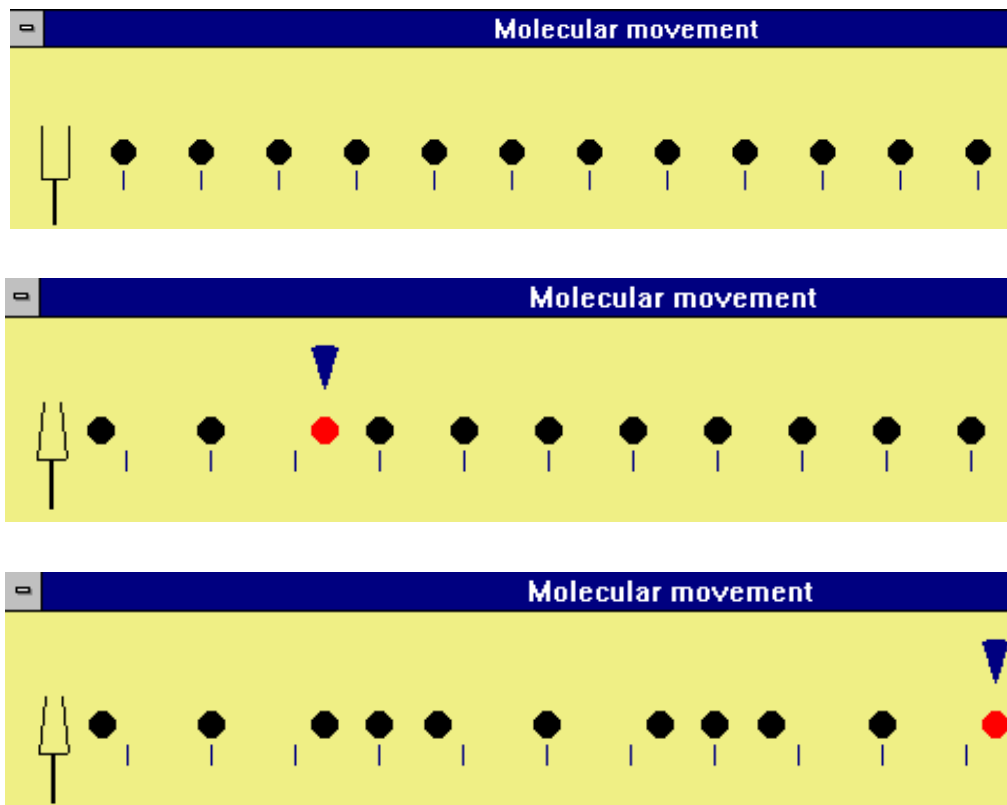


Slika 1. Valovi na vodi

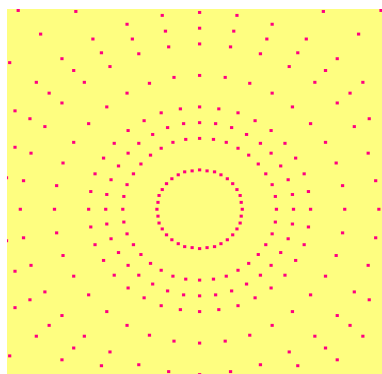
Jednostavan zvuk (npr. čisti ton) možemo objasniti pomoću harmonijskog titranja određene frekvencije dok je složeni zvuk sastavljen od većeg broja pojedinačnih harmonijskih titranja različitih frekvencija. Ukoliko je složeni zvuk harmoničan tada će više frekvencije toga zvuka predstavljati više harmonike koji su višekratnici najniže frekvencije (osnovnog ili nultog tona ili harmonika).



Slika 2. Jednostavno harmonijsko titranje



Slika 3. Mehaničko titranje - gibanje molekula



Slika 4. Gibanje molekula u prostoru

2.2. FREKVENCIJA

Frekvencija je učestalost broja titraja u sekundi, a izražava se u hercima (Hz - prema njemačkom istraživaču Hertz-u). Tisuću puta veće vrijednosti mogu se iskazati u kilohercima (kHz).

$$1000 \text{ Hz} = 1 \text{ kHz}$$

Heinrich Rudolf Hertz (1857. - 1894.) bio je njemački fizičar po kome je mjerna jedinica za frekvenciju - herc (Hz) dobila ime. On je prvi 1888. dokazao postojanje elektromagnetskih valova pomoću aparature koja je proizvodila radio valove. Hertz je rođen u Hamburgu a Studirao je u Dresdenu, Münchenu i Berlinu. Bio je učenik poznatih istraživača i znanstvenika Gustava R.

Kirchhoffa i Hermanna von Helmholtza. Hertz je otkrio da elektro-signali mogu putovati kroz zrak na temelju čega se danas temelji bežični prijenos signala radija, televizije, telefonije, interneta i sl.).

2.2.1. ČUJNI ZVUK

Ljudsko uho čuje frekvencije od 16 Hz do 20 kHz. Frekvencije ispod 16 Hz ne percipiramo kao zvuk već kao vibraciju (potresanje). Već je dana definicija zvuka i njegov frekvencijski raspon a pojednostavljeno možemo reći da je zvuk sve ono što čujemo. Percepcija zvuka je složena pojava i ovisi o nizu fizioloških i psiho-akustičkih faktora a kada se radi o percepciji govora tada cijeli proces postaje još kompleksniji jer ovisi o slušnom procesiranju, jezičnim sposobnostima i sl. Osobito je složena situacija ako se radi o osobi koja ima oštećenje sluha, poremećaje jezika ili govora ili poremećaj slušnog procesiranja. Kod osoba s oštećenjem sluha na sposobnosti percepcije govora utjecat će još niz dodatnih faktora kao npr.:

- stupanj oštećenja,
- tip oštećenja,
- preostali sluh,
- vrsta pomagala (slušni aparat ili kohlearni implant),
- način kako prima zvuk (zvuk u prostoru, preko induktivne petlje ili preko FM-a),
- karakteristike prostora (reverberacija, buka...) i dr.

2.2.2. INFRAZVUK

Infrazvučne frekvencije nalaze se u području od 0,1 do 16 Hz (često se kao gornja granica infrazvuka navodi i frekvencija od 20 Hz). Treba napomenuti da u govoru gotovo uopće nema frekvencija u tom području (osim ponekog zračnog udara kod izgovora bilabijalnih okluziva) te su ove frekvencije u području govora nebitne (ispod 100 Hz nema govornih frekvencija). Osim toga, čak i niske zvučne frekvencije od 20 do 100 Hz su "beskorisne" u govornoj komunikaciji i više ometaju komunikaciju (zbog efekta maskinga) nego što koriste. Ove niske frekvencije osobito su nepovoljne za osobe s oštećenjem sluha i to iz dva razloga:

- osoba s oštećenjem sluha nije u stanju auditivnim putem percipirati frekvencije a ukoliko ih se pojača slušnim aparatom, one mogu biti prejake i pri tome ne izazvati bolni i štetni podražaj na uhu i
- dugotrajna izloženost infrazvučnim frekvencijama može dovesti do ozbiljnih (i opasnih) zdravstvenih poteškoća.

Frekvencije ispod 20 Hz (infrazvuk) uhom ne doživljavamo kao zvuk već kao pulsirajuću vibraciju na bubnjiću. Stoga nema opravdanja niti razloga infrazvučni podražaj aplicirati na uho (može dovesti do trajnih oštećenja sluha – ili ga još više pogoršati, ovisno u intenzitetu podražaja i njegovom trajanju). Infrazvuk osjećamo taktilno po čitavom tijelu kao osjećaj potresanja ili vibracije. Istraživanja su utvrdila da je za prag taktilnog osjeta na tijelu na frekvenciji od 10 Hz potrebno oko 120 dB SPL. Prag je skoro isti i za gluhe osobe (jer su njihovi taktilni i kinestetski

osjeti isti kao i kod čujućih osoba). Dakle, za osobe oštećena sluha moguće je koristiti vibrotaktilne stimulacije koje neće percipirati uhom ali će ih osjetiti tijelom. Međutim, govor u tom frekvencijskom području ne sadrži gotovo nikakve informacije, osobito ne one koje tiču fonologije. Vibrotaktilnim stimulacijama moguće je prenijeti ritam (npr. udaranje po bubnju ili drugim udaraljka preneseno elektroakustičkim putem i pretvoreno u vibrotaktilni podražaj dat će osjet na tijelu). Kod primjene vibrotaktilnih stimulacija potreban je oprez i dobro poznavanje njihova utjecaja.

Prag čujnosti na 20 Hz za zdravo ljudsko uho iznosi oko 75 dB a osoba s oštećenim ove frekvencije gotovo uopće ne može primiti auditivnim putem. Ako bi npr. gubitak sluha iznosio 50 dB, takvoj bi osobi frekvenciju od 20 Hz morali pojačati na 125 dB (na 50 dB gubitka treba dodati još 75 dB da bi postigli osjetni prag), a to bi izazvalo osjet boli (osjećaj je sličan kao da se vatiranim štapićem za uši izazove bolni pritisak na bubnjiću). Dakle, slušanje vrlo niskih frekvencija (oko 20 Hz ili niže) može kod osobe oštećena sluha izazvati samo bol a ne auditivni podražaj. U području infrazvuka, na frekvenciji od 10 Hz, prag čujnosti je oko 100 dB za zdravo uho, a osoba s oštećenim sluhom bi trebala dobiti taj podražaj sa 150 dB (ili više) da ga zamijeti, a to bi izazvalo bol (npr. pucanj iz lovačke puške na 10 cm od uha!). Stoga, sve frekvencije ispod 50 Hz potpuno su auditivno neupotrebljive i štetne za osobe s oštećenim sluhom (osobe oštećena sluha ne mogu ih percipirati auditivno već mogu samo osjetiti bolni podražaj na bubnjiću).

2.2.2.1. VIBROAKUSTIČKA BOLEST

Posljednjih godina s pojavom sve veće izloženosti čovjeka različitim oblicima buke sve se više istražuje i utjecaj infrazvuka na zdravlje pa je tako otkrivena i nova vibroakustička bolest (Vibroacoustic Disease – VAD). To je kronična progresivna i kumulativna bolest koja nastaje kao posljedica dugotrajne izloženosti zvuka niskih frekvencija (ispod 100 Hz) i infrazvuka ukoliko je intenzitet bio veći od 110 dB SPL. Npr. ova se bolest javlja kod ljudi kojima tijelo izloženo preglasnoj glazbi na niskim frekvencijama ili radnicima koji rukuju strojevima koji proizvode infrazvučne vibracije. Posljedice (i simptomi) bolesti mogu biti višestruki:

- poremećaji u ponašanju,
- strah,
- problemi vizualne percepcije,
- poremećaj ravnoteže,
- epilepsija,
- moždani udar,
- neurološka oštećenja,
- vaskularne lezije,
- srčani infarkt,
- suicid...

Osobito su opasne frekvencije od 1 do 7 Hz (prema nekim izvorima mogu izazvati čak i smrt!).

2.2.3. ULTRAZVUK

Ultrazvukom nazivamo sve frekvencije iznad 20 kHz. Za razliku od infrazvuka ove visoke frekvencije čovjek ne može osjetiti ili percipirati niti jednim osjetilom. Ipak, u životinjskom svijetu one su bitne jer neke životinje dobro čuju znatno više frekvencije od čovjeka (primjeri u tablici br. 1). Primjena ultrazvuka raširena je u medicini kod različitih vrsta ultrazvučnih pretraga i dijagnostike (npr. Transkranijalni dopler). Ultrazvuk se koristi i u drugim područjima kao što je otkrivanje jata riba pomoću sonarnih uređaja. Princip korištenja je sličan eho-lokatoru kojega koristi šišmiš: u prostor (podmorje) odašilje se ultrazvučni val koji će se odbijati od prepreke kada naiđe na nju. Prema vremenu potrebnom da se reflektirani val vrati određuje se udaljenost objekta pod vodom.

Tablica 2. Primjeri čujnog frekvencijskog raspona za neke životinje i čovjeka

sisavci	frekvencijski raspon (Hz)
pas	60 - 45.000
mačka	45 - 65.000
štakor	360 - 76.000
miš	1.000 - 91.000
šišmiš	2.000 - 110.000
kit	1.000 - 123.000
čovjek	16 - 20.000

2.3. BRZINA ŠIRENJA ZVUKA

Brzina širenja zvuka je brzina kojom se titranje (vibracije) čestica širi kroz neku tvar, a ovisi o fizikalnim svojstvima tog medija. Kod zraka brzina širenja ovisi o njegovoj gustoći, atmosferskom tlaku, temperaturi, vlažnosti itd.

Brzina zvuka u nekim medijima:

- zrak 343 m/s (kod 20° C i atmosferskog tlaka od 1 bar)
- zrak 319 m/s (kod -20° C i atmosferskog tlaka od 1 bar)
- vodik 1270 m/s (kod 20° C i atmosferskog tlaka od 1 bar)
- kisik 317 m/s
- voda 1440 m/s (10° C)
- željezo 5000 m/s
- olovo 1300 m/s
- pluto 500 m/s

2.4. INTENZITET

Intenzitet ili jakost zvuka je količina energije koja u jednoj sekundi prostruji kroz plohu od 1 m² postavljenu okomito na smjer širenja zvuka. Jakost se zvuka izražava u watima na m² (W/m²). Mladi čovjek zdravog sluha može zamijetiti zvuk jakosti od 10-12 W/m² i to je prema međunarodnom dogovoru akustičara određeno kao referentni zvučni intenzitet. Kako tom

intenzitetu odgovara zvučni tlak od 20 μPa (mikro Paskala), to je referentni zvučni tlak. To su dakle nulte razine zvučnog tlaka i intenziteta. Referentni zvučni tlak od 20 μPa na frekvenciji od 1.000 Hz je ujedno i najmanji intenzitet koji zdravo uho može zamijetiti (prag čujnosti) te je ovaj intenzitet u akustici označen kao vrijednost od 0 dB. Jakost zvuka koja se decibelski odnosi prema referentnom intenzitetu zove se razina intenziteta (IL - intensity level), a isto tako, zvučni tlak u decibelskom odnosu prema referentnom zvučnom tlaku zove se razina zvučnog tlaka (SPL - sound pressure level).

Važno je zapamtiti da "nula decibela" nije isto što i nula u matematici već je to minimalna glasnoća zvuka koji čujemo na frekvenciji od 1.000 Hz gdje je uho najosjetljivije (napomena: uho je još više osjetljivo na frekvencijama oko 3 kHz ali je kao standard uzete vrijednost na 1 kHz). Zato na audiogramu postoji mogućnost da čujemo zvuk i na nula decibela pa čak i tiše s negativnim predznakom na decibelima (osobe koje imaju izuzetno osjetljiv sluh).

Tablica 3. Prikaz decibela i odnos zvučnih tlakova za neke zvukove

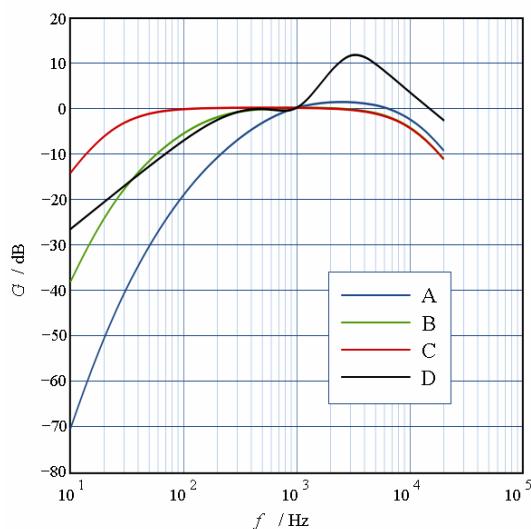
primjer	decibeli dB	omjer tlakova p/p_0 ($p_0=20 \mu\text{Pa}$)
prag čujnosti (20 μPa)	0	1
najtiši šapat	20	10
tihi razgovor	40	100
Prosječna razina buke u dnevnoj sobi	50	316
normalan razgovor	60	1000
glasan razgovor, prometna ulica	70	3160
unutrašnjost autobusa, teški kamion (5m)	80	10000
prag neugode (prolazak vlaka)	90	31600
bučna tvornica	100	100000
pneumatski čekić	110	316000
mlazni avion (20 m)	120	1000000
prag bola	130	3160000

2.4.1. DECIBEL

Glasnoća zvuka se najčešće izražava u decibelima ali može se iskazati i kao efektivni ili maksimalni iznos promjene tlaka u odnosu na tlak nekog sredstva u stanju mirovanja (npr. zraka) u kojem se zvuk širi. Tada se iskazuje u jedinici za tlak – Paskalima.

Decibel je logaritamska mjera (omjer) odnosa dviju veličina u kojem mora biti definirana referentna veličina. Standardno se razina zvuka u decibelima prikazuje u odnosu na referentni tlak od 20 μPa koji načelno odgovara pragu čujnosti i tada se obično označava dodatnom oznakom SPL (engl.: Sound Pressure level). Tako na primjer šapat ima oko 30 dB(A)_{SPL}, normalan govor oko 60 dB(A)_{SPL}, a prag neugodne buke oko 90 dB(A)_{SPL}. Kako ljudsko uho nije jednako osjetljivo na sve frekvencije, određeni su težinski faktori kojima se intenzitet pojedine frekvencije uzima u obzir

kod mjerenja glasnoće zvuka a u zavisnosti o osjetu uha. Za intenzitete zvukova koji se nalaze u području normalne glasnoće (razina komunikacije, govora i glazbe) težinski faktori određeni su i standardizirani tzv. „krivuljom A“ (prema standardu EN 61672-1/-2). Mjerenja zasnovana na tim težinskim faktorima se označavaju kao dB(A), a ponekad i kao dBA ili dB_A. Kada se radi o znatno većim i štetnim razinama zvuka (npr. industrijska buka i buka strojeva) koriste se težinske krivulje B, C i D. Decibel je mjerna jedinica izvedena iz jedinice bel (**B**) - nazvan tako u čast A. G. Bella, izumitelja telefona - no iz praktičnih se razloga koristi deset puta manja logaritamska mjera decibel (**dB**).



Slika 5. Težinske krivulje¹

Budući da su u slušnoj akustici omjeri između nulte razine zvučnog tlaka i intenziteta prema razinama vrlo glasnih zvukova veliki (1 : 1.000.000), jednostavnije je da se zvučne snage i tlakovi izražavaju logaritmom omjera. Odnos ili omjer dvije linearne akustičke ili električne veličine (npr. zvučni tlak ili napon) izražen u decibelima je dvadesetostruki umnožak logaritamskog odnosa, s bazom deset.

$$SPL = 20 \log \frac{p_1 (Pa)}{20 \mu Pa} dB$$

Ako se radi o odnosu dvije kvadratne veličine (npr. snaga, intenzitet ili energija), tada je decibel desetostruki umnožak logaritamskog odnosa s bazom deset.

$$Il = 10 \log \frac{I1(W / cm^2)}{10^{-12}(W / cm^2)} dB$$

¹ Preuzeto sa interneta: <http://hr.wikipedia.org/wiki/Zvuk>

Krivulje A, B, C i D težinskih faktora za utvrđivanje glasnoće zvuka u odnosu na frekvenciju (EN 61672-1/-2).

2.5. VALNA DULJINA

Valna duljina je razmak između dvije susjedne točke najvećeg gušćenja (nadtlača), ili razrjeđenja (podtlača). Jedan puni val predstavlja ujedno i jedan titraj, pa iz toga slijedi da je broj valova nekog zvuka u sekundi jednak frekvenciji tog zvuka. Ako na osciloskopu izmjerimo trajanje jednog vala (npr. $T=5$ ms) možemo saznati frekvenciju zvuka (f) tako da izračunamo koliko takvih valova ima u jednoj sekundi:

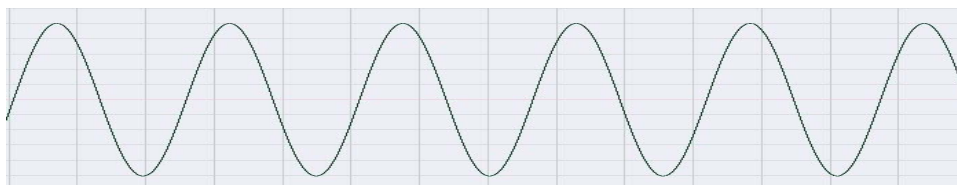
$$f = \frac{1}{T_0} = \frac{1000}{5} = 200\text{Hz}$$

2.6. VRSTE ZVUKOVA

Prema obliku zvučnog spektra zvukove dijelimo na čiste tonove, složene zvukove i šumove. Nadalje, prema obliku i pravilnosti titranja možemo ih podijeliti na periodične (harmonične) zvukove i aperiodične zvukove (šumove).

2.6.1. ČISTI TON

Čisti ton je jednostavan periodični zvuk, najčešće sinusoidnog valnog oblika i konstantne frekvencije. U prirodi se ovakvi tonovi rijetko susreću, ali se koriste u elektroakustici za razna mjerenja (primjer liminarna tonalna audiometrija).



Slika 6. Sinusoidni valni oblik čistog tona



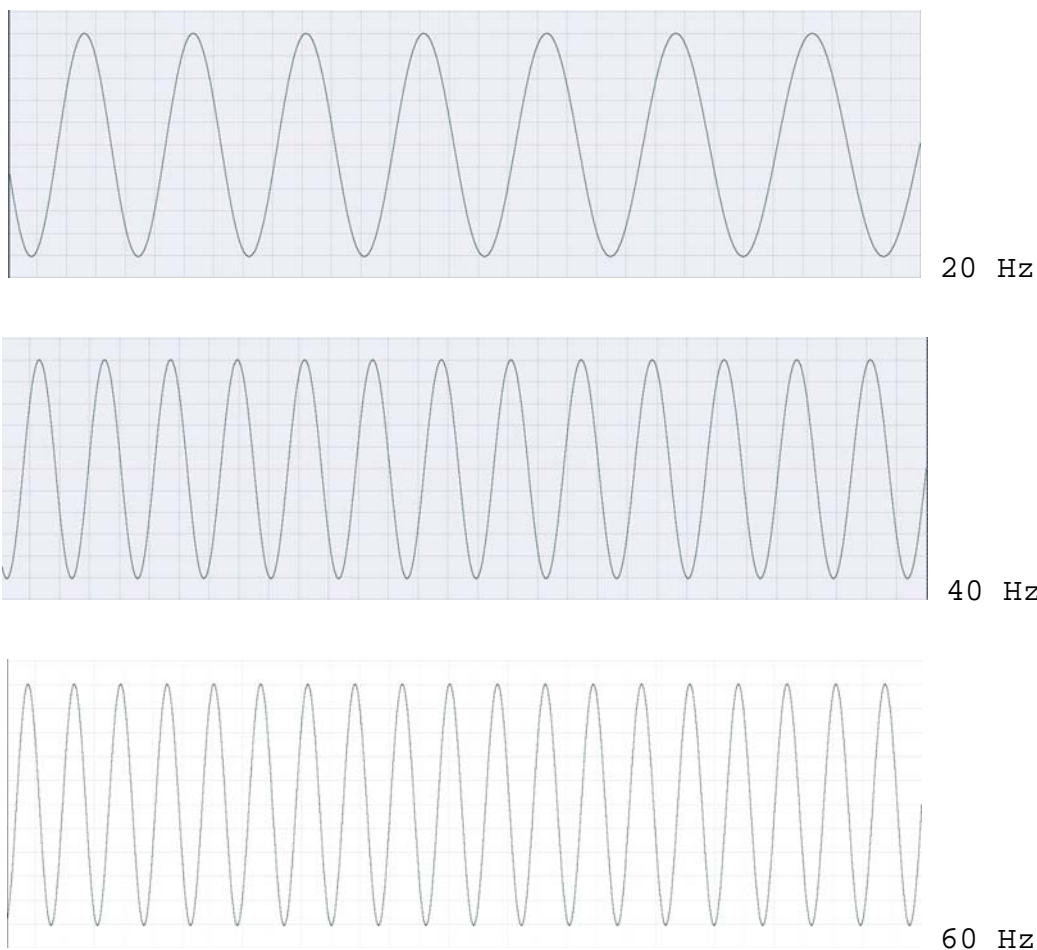
Slika 7. Trokutasti ("pilasti") valni oblik čistog tona



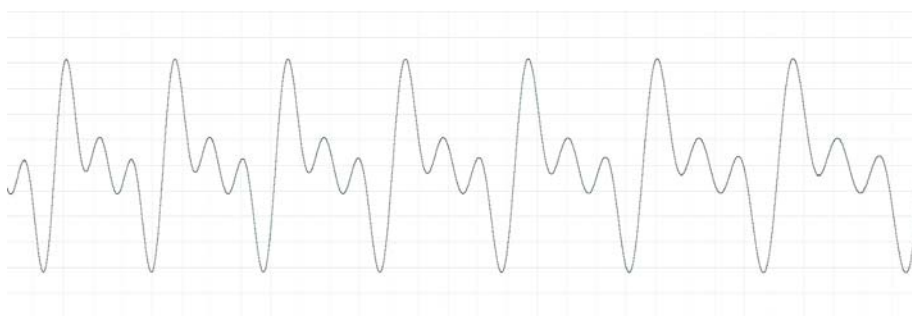
Slika 8. Četvrtasti ("kvadratičan") valni oblik čistog tona

2.6.2. SLOŽENI ZVUK

Nastaje kombinacijom čistih tonova različitih frekvencija. U prirodi se javlja kao muzički ton (harmoničan zvuk). Karakteristika ovakvog zvuka je da se sastoji od osnovnog tona i određenog broja harmoničkih tonova (nadvalova) koji su cjelobrojni višekratnici osnovnog tona (to je omjer malih cijelih brojeva - 1:2, 2:3, 3:4 itd.). Samoglasnici u govoru imaju osobine harmoničnog zvuka. Složeni zvuk može biti i disharmoničan (ako se osnovna frekvencija prema višim tonovima nalazi u nekom drugačijem omjeru, a ne kao cjelobrojni višekratnik).



Slika 9. Čisti tonovi



Slika 10. Složeni zvuk: sumirani čisti tonovi iz prethodnog primjera

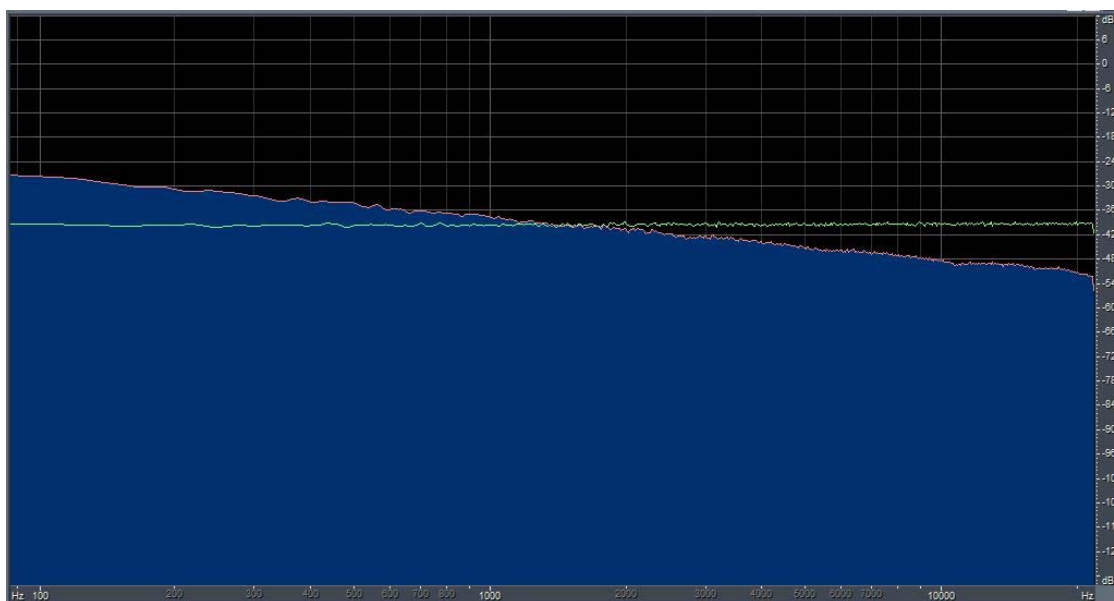
2.6.3. ŠUM

Šum je zvuk nepravilnog titranja gdje nema stalnih frekvencija i amplituda (u govoru su takvi bezvučni frikativi). U elektroakustičkim mjerenjima često se koriste dva karakteristična oblika šuma a to su bijeli i ružičasti šum.

Bijeli šum (white noise) je u biti oblik složenog zvuka koji sadrži u sebi velik broj frekvencija čujnog spektra, a akustička energija jednoliko je raspoređena u cijelom spektru. Naziv je dobio po analogiji na "bijelo svjetlo" (normalno danje svjetlo) koje u sebi sadrži sve boje (sve valne duljine vidljivog spektra), a možemo ih vidjeti samo ako svjetlo propustimo kroz staklenu prizmu (zeleno horizontalna linija na slici br. 10).

Ružičasti šum (pink noise) identičan je bijelom šumu po spektralnom sastavu, ali se intenzitet unutar spektra linearno smanjuje od najniže ka najvišoj frekvenciji. Intenzitet opada u svakoj narednoj oktavi za 3 dB (plava ploha na slici br. 10).

Prasak je poseban oblik šuma kratkog trajanja, velike snage strmih tranzijenata (npr. bezvučni okluzivi u govoru).



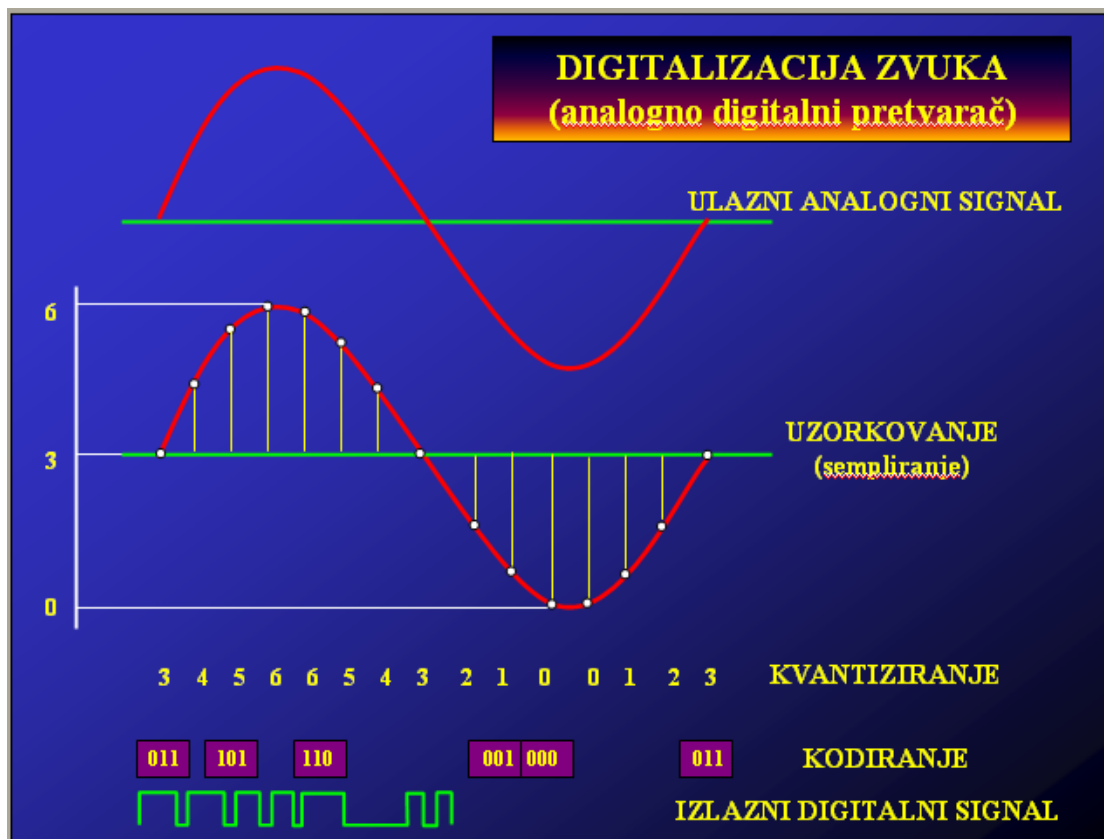
Slika 11. Prikaz spektralne energije bijelog i ružičastog šuma

3. OBRADA ZVUKA POMOĆU RAČUNALA

3.1. DIGITALIZACIJA ZVUKA

Digitalizacija zvuka je proces pretvaranja analognog audio signala u digitalni oblik a obuhvaća 3 koraka:

- uzorkovanje (sampling)
- kvantiziranje
- kodiranje.



Slika 12. Proces digitalizacije

Digitalni audio zapis je definiran je s tri parametra: brojem kanala, frekvencijom uzorkovanja i rezolucijom. O ovim parametrima ovisi kvaliteta zvuka. Uobičajeni parametra kod računalnog WAV formata su broj kanala – 2 (stereo), rezolucija - 16 bit (ili više) i frekvencija uzorkovanja 44100 Hz. Broj kanala daje informaciju da li je zvuk snimljen u mono ili stereo tehnici. Mono podrazumijeva jednokanalno snimanje odnosno da će zvuk kod reprodukcije biti identičan na desnom i lijevom kanalu (zvučniku) ali i da je količina zapisa (memorija) dvostruko manja od stereo zvuka. Stereo zvuk je dvokanalni (desni i lijevi) i pogodan je za pohranjivanje glazbenih datoteka.

3.1.1. UZORKOVANJE (SEMPLIRANJE)

Zvuk je vremenska pojava i događa se u vremenskoj domeni te ga je moguće obrazložiti Fourier-ovim teoremom prema kojem se svaki periodični signal može prikazati kao beskonačna suma (red) sinusnih valova različitih frekvencija (osnovna frekvencija signala i njeni višekratnici - harmonici), te različitih amplituda i faza.

Uzorkovanje podrazumijeva "povremeno" mjerenje trenutačne vrijednosti analognog signala (primjer ako očitavamo i zabilježimo temperaturu zraka na termometru svakih sat vremena). Međutim, zvuk je pojava koja se manifestira brzim vremenskim promjenama (npr. najviši čujni zvuk promijenit će svoje amplitude dvadeset tisuća puta u jednoj sekundi). Da bismo mogli zabilježiti visinu zvuka od 20 kHz, uzorkovanje mora biti barem dvostruko brže, dakle minimalno 40000 puta u sekundi. Frekvencija uzorkovanja je brzina (učestalost) kojom se mjere trenutačne vrijednosti zvučnog signala. Uobičajena vrijednost za kvalitetno snimanje zvuka iznosi 44100Hz.

Brzina uzorkovanja definirana je Nyquist-ovim teoremom uzorkovanja prema kojem je za uspješno pohranjivanje i ponovnu reprodukciju zvuka potrebno barem dvostruko brže uzorkovati signal od njegove najviše frekvencije. Stoga se ova najniža frekvencija uzorkovanja naziva Nyquistovom. Stoga, da bi uspješno uzorkovali i rekonstruirali neki analogni kontinuirani signal, njegove najviše frekvencija mora biti upola manja od Nyquistove. U teoriji informacija ovo se zove Shannonov (Nyquistov)² teorem odnosno teorem o uzorkovanju (Sampling Theorem).

Tablica 4. Frekvencija uzorkovanja i kvaliteta zvuka

frekvencija uzorkovanja (sempiranja)	gornja frekvencija audio signala	napomena
8.000 Hz	4.000 Hz	telefonski prijenos
32.000 Hz	16.000 Hz	cijelo govorno područje
44.100 Hz	22.050 Hz	cijelo čujno područje
96.000 Hz	45.500 Hz	profesionalna uporaba

3.1.1.1. REZOLUCIJA UZORKOVANJA

Rezolucija je broj bitova korištenih za mjerenje amplituda (glasnoće) uzorka. Kod 8 bitne rezolucije koristi se 256 različitih razina (varijacija) glasnoća, dok se kod 16 bitne rezolucije koristi 65536 jedinstvenih glasnoća. Dakle, što je veća rezolucija vjernije će se zabilježiti dinamički raspon (omjer između najtišeg i najglasnijeg dijela zvuka) i bit će bolji odnos šuma i signala.

² Izvori sa interneta: H. Nyquist (1928). Certain Topics in Telegraph Transatssion Theory, AIEE Trans. 47, 617-644

C.A. Shannon (1949). Communications in Presence of Noise, Proc. IRE, 37, 10-21

3.1.2. KVANTIZIRANJE

Svakom uzetom i izmjerenom uzorku (to je kod zvuka minimalno 40000 puta u sekundi) treba odrediti njegovu trenutačnu veličinu. To je kvantiziranje kojim se svakoj točki uzorkovanja pridodaje brojčana vrijednost trenutnog zvučnog signala.

3.1.3. KODIRANJE

Budući da računala rade i pohranjuju podatke u binarnom sustavu (uporabom dvaju brojčanih znamenki, nule i jedinice, svaku kvantiziranu vrijednost treba pretvoriti (kodirati) u binarnu kodna riječ. Time se dobije niz kodnih riječi koji odgovara nizu kvantiziranih uzoraka a takav signal, kao niz bitova, postao je digitalni signal kojega računalo može pohraniti, obraditi i prema potrebi ga ponovo rekonstruirati u prvotni analogni oblik čujnog zvuka.

3.2. VRSTE DIGITALNIH AUDIO ZAPISA

Razvojem računalne tehnologije i osobito interneta razvio se niz digitalnih audio formata za pohranjivanje zvuka, osobito glazbe. Na računalima se najčešće mogu sresti 3 vrste audio datoteka: WAV, MP3 i WMA. Međutim, kvalitetno pohranjen audio format zahtijeva veliku količinu memorije i pohranjivanje velike količine informacija. Takav je npr. standardni Windows-ov format datoteka – WAV koji ne koriste nikakvo sažimanje (kompresiju) podataka ali je zato pogodan za naknadne akustike obrade i analizu zvuka. Komprimiranje audio datoteka može se izvršiti na dva načina bez gubitka informacija (lossless) ili uz gubitak (lossy). "Lossless" formati bez gubitka zahtijevaju veće datoteke i količinu memorije pa je njihov nedostatak da su takve datoteke veće ali im je prednost da je zvuk uvijek moguće rekonstruirati u izvorni oblik i s originalnom kvalitetom. No, zbog interneta, sve više se koristi "lossy" tehnika sažimanja zvuka. Prilikom takvog sažimanja ne čuvaju se svi podaci o zvuku, eliminišu se oni podaci koje ljudsko uho ionako ne može čuti. Takve su datoteke i do 10 20 puta manje od originalnog zvuka a pri tome ipak ostaje sačuvana dovoljno dobra kvaliteta zvuka. Među trenutno najkorištenije formate koji komprimiraju (kompresiraju) podatke spada MP3 koji zbog svoje male veličine datoteka i vrlo dobre kvalitete zvuka postaje vrlo korisan za prikazivanje na internetu ili njegovo slanje putem elektronske pošte (e-maila). Sve Microsoft-ove aplikacije vezane uz zvuk koriste sažeti format glazbenih datoteka - WMA (što je kratica za Windows Media Audio). Taj je format primarno namijenjen korištenju za Windows Media Player. Danas većina audio (CD) i digitalnih snimača/playera podržava izvorni audio, WAV, WMA i MP3 formate audio zapisa.

3.2.1. WAV FORMAT

WAV (enleski "wawe" - val) osnovni je format zvuka u Windows sučelju pa sve Windows aplikacije koje imaju opciju snimanja ili reprodukcije zvuka prepoznaju ovaj format datoteka. No, WAV datoteke mogu biti vrlo velike pa jedna minuta kvalitetno snimljene glazbe u WAV formatu s visokom rezolucijom uzorkovanja (CD kvaliteta), može zauzeti i preko 10 MB podatkovne memorije. Tako je za pohranjivanje sadržaja jednog glazbenog CD-a u WAV formatu potrebno oko 600 MB. Stoga se danas vrlo često vrši sažimanje takvih datoteka na tvrdom disku računala kako bi se kasnije mogle kodirati u neki drugi kompresirani format. Ovakav se postupak naziva digitalna audioekstrakcija a u žargonu često nalazimo pojam "ripanje CD-a".

3.2.2. MP3 FORMAT

MP3 je kratica za algoritam kodiranja zvuka (puni je naziv MPEG-1 Layer 3). Kratica MPEG dolazi od "Moving Pictures Experts Group" (skupina stručnjaka za film) a MP3 format standardiziran je i od strane Međunarodne organizacije za standarde ISO (International Standard's Organization). Jedan od najvećih prednosti MP3-a nad ostalim formatima glazbenih datoteka jest u tome što korisnici mogu sami odabrati stupanj sažimanja pa time i konačnu kvalitetu audio zapisa. Veći stupanj sažimanja daje manju MP3 datoteku ali i slabiju kvalitetu zvuka, dok manji stupanj sažimanja stvara veću datoteku, ali je audio zapis vjerniji originalnom zvučnom zapisu. Mjerilo kvalitete MP3 zapisa je "bit rate" - količina bitova kojom je predstavljena jedna sekunda zvučnog zapisa. Veći bit rate (i bolja kvaliteta zvuka) znači da se koristi manji stupanj sažimanja i obrnuto. Najčešće kodiranje MP3 datoteke (Bit rate / Veličina datoteke):

- 16 Kbit/s 10,5 MB
- 64 Kbit/s 30 MB
- 128 Kbit/s 60 MB
- 192 Kbit/s 86 MB
- 256 Kbit/s 120 MB
- 302 Kbit/s 144 MB

Kao što je već rečeno, MP3 format je "lossy" algoritam što znači da se dio informacija gubi (eliminira) kako bi se smanjila veličine datoteke. No, gubitak je gotovo neprimjetan jer MP3 algoritam eliminira uglavnom vrlo niske frekvencije iz stereo signala te ga reproducira kao mono – signal. Ovaj je gubitak gotovo nezamjetljiv ljudskom uhu jer na niskom frekvencijama nemamo toliko izražen osjet lokalizacije zvuka u prostoru a s druge strane upravo niske frekvencije posjeduju veliku energiju (pa time zahtijevaju i veći količinu memorije) pa se time dobiva ušteda na veličini MP3 datoteke. U donjoj tablici prikazani su primjeri MP3 kompresije s obzirom na kvalitetu zvuka, broj bita, frekvenciju uzorkovanja i veličinu datoteke.

Tablica 5. Kvaliteta zvuka, broj bita i uzorkovanje

kvaliteta zvuka	broj bita	brzina uzorkovanja (Sample rate) Hz	veličina datoteke
telefon	8	11025	650 KB
radio	8	22050	1,3 MB
CD kvaliteta	16	44100	10,5 MB

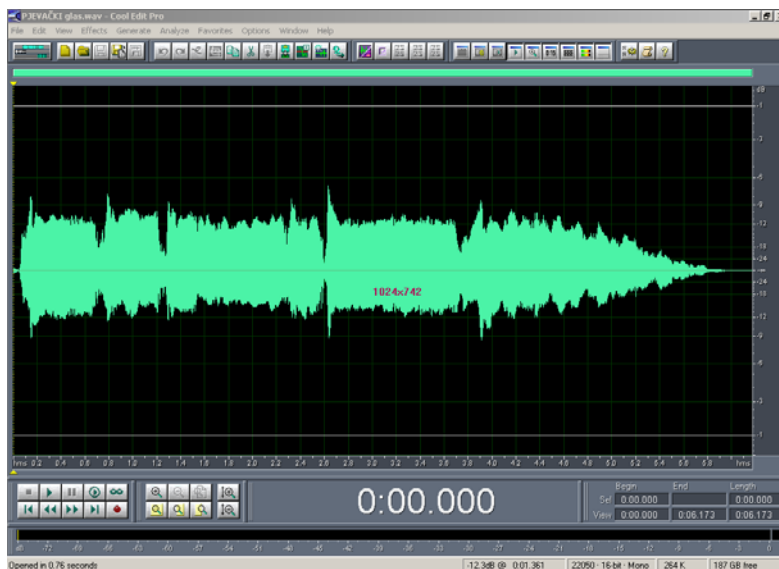
MP3 sažimanje zvuka temelji se na masking efektu, koji se pojavljuje kod kojih frekvencijski niži i jači zvukovi maskiraju (prekrivaju) frekvencijski bliske više zvukove ako su oni manjeg intenziteta. Dakle, kod maskinga snažniji zvuk prekriva neki drugi zvuk i čini ga nečujnim za uho. Ako se pored signala jedne frekvencije nalazi signal druge, bliske frekvencije s manjim intenzitetom, onda će glasniji signal maskirati tiši. Stoga, ovaj tiši signal možemo smatrati suvišnim jer ga ionako ne čujemo. Osim frekvencijske domene i masking efekta za proces sažimanja važna je i osjetljivost uha na promjene intenziteta (glasnoće). Ljudsko uho razlikuje maksimalni raspon glasnoća unutar 120 dB (od praga čujnosti do praga boli) ali samo u području srednjih frekvencija (oko 1 do 3 kHz).

MP3 ne dijeli cjelokupno čujno područje (20 Hz do 20 kHz) na potpojaseve jednakog frekvencijskog raspona već na 27 takozvanih "kritičnih pojaseva". Kako ljudsko uho nije jednako osjetljivo niti na sve frekvencije, kritični pojasevi određeni su varijabilno, prema stvarnim karakteristikama sluha. Tako npr. kritični pojas broj 1 obuhvaća frekvenciju od 50 do 95 Hz (širina 45 Hz), dok posljednji kritični pojas broj 26 (prvi pojas označen je nulom) obuhvaća frekvenciju od 15375 Hz do 20250 Hz te ima širinu od čak oko 5 kHz). Za svako od 27 kritičnih pojaseva provodi se zasebna analiza i komprimiranje audio signala.

3.3. SNIMANJE I OBRADA ZVUKA

Postoji veliki broj računalnih programa koji omogućavaju raznovrsnu obradu zvuka. Svi rade na sličnom principu i imaju slične standardne opcije programa. Cool Edit (sada se zove Adobe Audition) je jedan od najboljih programa za editiranje (uređivanje) zvuka pa ćemo na njegovom primjeru pokazati osnovne opcije rada. Pomoću njega možemo:

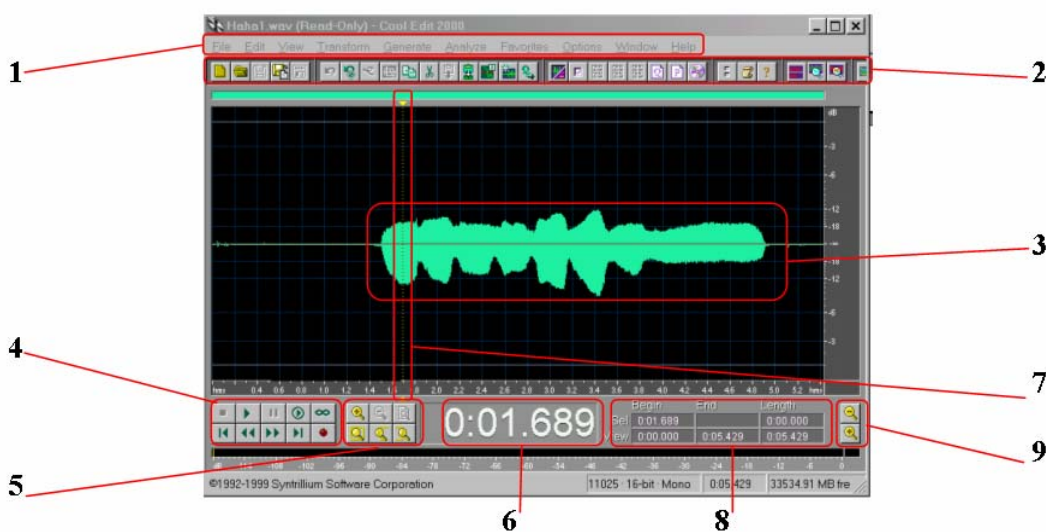
- snimati zvuk,
- raditi montaže zvuka (izrezivanje, kopiranje, dodavanje, premještanje),
- vršiti frekvencijske i vremenske analize,
- filtrirati zvuk,
- pridodati zvuku različite efekte i
- generirati različite vrste zvukova.



Slika 13. Prikaz programa Cool Edit Pro 2.0

3.3.1. OSNOVNI OPIS I SADRŽAJ KOMANDI

Nakon startanja programa na ekranu se pojavljuje njegov prikaz kao na donjoj slici. U gornjem horizontalnom redu nalazi se traka s menijem (oznaka br. 1). Sve radne opcije programa dostupne su preko menija i preko njihovih ikona koje se nalaze u redu ispod menija (tool - bar, oznaka br. 2). Svaki iskusniji korisnik može tool bar urediti prema svojim željama i potrebama. Međutim, za početnike je bolje koristiti opcije preko menija, jer su one detaljnije opisane tekstom, što je informativnije. U velikom crnom ekranu nalazi se prikaz zvuka u obliku oscilograma (oznaka br. 3). Preko menija - *View* može se birati opcija spektralnog prikaza (*Spectral View*) ili vremenskog prikaza zvuka (*Waveform View*). Bolja je ipak ova druga opcija, jer u vremenskom prikazu možemo bolje i preciznije uočavati različite vremenske segmente zvuka.

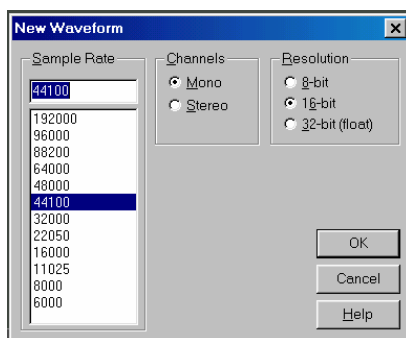


Slika 14. Osnovni raspored komandi Cool Edit-a

U donjem dijelu ekrana nalazi se blok za snimanje i reprodukciju zvuka (oznaka br. 4) s uobičajenim simbolima za snimanje zvuka. Desno, do njega, nalazi se blok s povećanjem - "zumom" vremenskog prikaza (oznaka br. 5). U srednjem donjem dijelu nalazi se brojač (oznaka br. 6) koji pokazuje vremensku točku na koju smo trenutno postavili pokazivač u oscilogramu (oznaka br. 7). U desnom donjem uglu nalazi se brojačani prikaz (oznaka br. 8). U krajnjem donjem desnom uglu nalazi se blok s povećalom za vertikalno prilagođavanje prikaza oscilograma (oznaka br. 9).

3.3.2. SNIMANJE ZVUKA

Snimanje novog zvuka u Cool Editu možemo započeti na dva načina: a) preko menija - **File - New** i b) **pritiskom na crvenu točku** u donjem bloku za snimanje. Bez obzira na koji način počinjemo sa snimanjem, prije samog snimanja pojavit će se prozor "**New Waveform**" kako je prikazano na donjoj slici. U njemu treba odabrati **Sample Rate** (preporuka je **44100**), zatim **Channels** (preporuka - **Mono**) i **Resolution** (preporuka **16-bit**). Kada jednom odaberemo ove parametre, program će ih ubuduće uvijek ponuditi kao odabrane, tako da je kod budućih snimanja moguće odmah nastaviti snimanje s pritiskom tipke **OK**.



Slika 15. Definiranje parametara snimanja zvuka

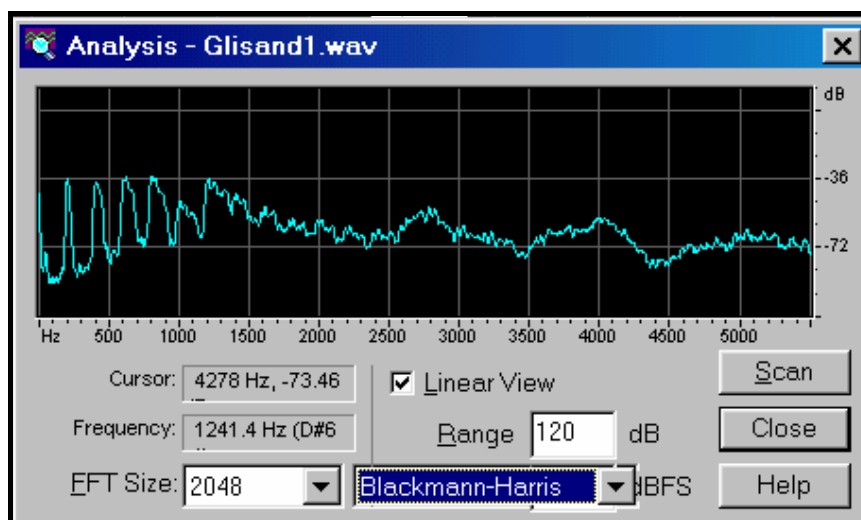
3.3.3. SPEKTRALNA ANALIZA ZVUKA



Slika 16. Odabir dijela zvuka i njegova frekventijska analiza

Često nas zanima spektar određenog glasa. Da bi frekventijski analizirali neki glas, prvo ga moramo mišem označiti (kursorom dođemo na početak dotičnog glasa, pritisnemo lijevi gumb miša i tako ga vučemo u desno do željene točke te otpustimo gumb miša. Sada je željeni dio zvuka ostao obilježen (označen bijelom bojom) te možemo otići na frekventijsku analizu tog dijela. Na gornjem meniju odaberemo opciju *Analyse - Frequency Analysis*. Tada će se pojaviti novi prozor u kojemu je prikazan spektar prethodno obilježenog zvučnog segmenta. Preporuka je da u opciji *FFT Size* bude odabrana standardna vrijednost **2048**. Nadalje, da bismo malo poboljšali sliku spektra dobro je pritisnuti tipku *Scan* nakon čega će slika postati jasnija. U frekventijskoj analizi možemo vrlo precizno očitati interesantne frekventijske vrijednosti, tako da mišem dođemo na određeni dio spektra, a u prozoru *Cursor* će biti prikazana točna frekvencija i decibelska vrijednost u toj točki.

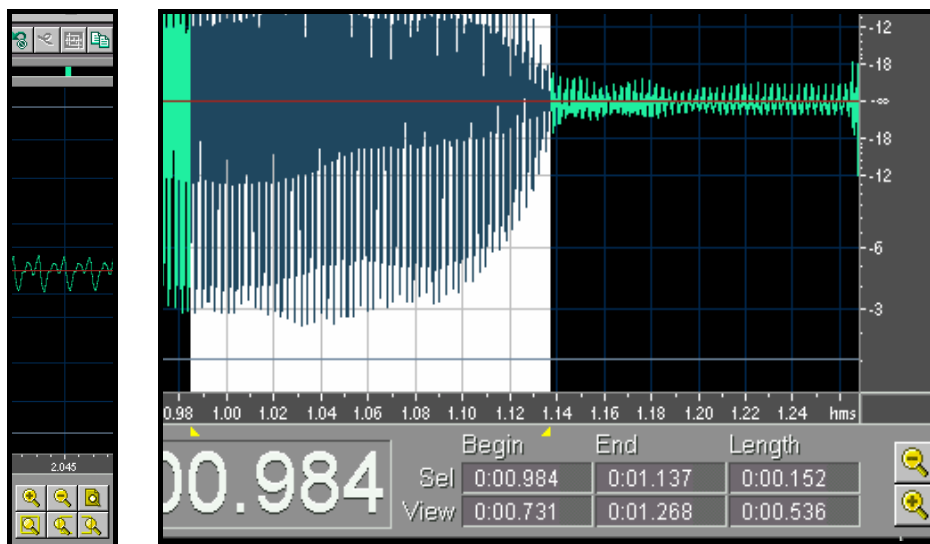
Ako radimo analize samoglasnika (vokala), tada je bolje isključiti opciju *Linear View*, a ako radimo analize konsonanta, prikaz će biti bolji, ako je ova opcija uključena.



Slika 17. Prikaz spektra

3.3.4. VREMENSKA ANALIZA

Vremensku analizu signala vršimo u osnovnom prozoru Cool Edita. U vremenu možemo promatrati i mjeriti trajanje pojedinih glasova ili riječi, zatim dužinu pauzi, prekida, trajanje okluzije kod pregradnih glasova, vrijeme uključenja glasa (VOT odnosno VUG) i sl. Isto tako moguće je utvrditi način započinjanja fonacije (tvrda ili meka ataka glasa), pravilnost titranja glasnica (po frekvenciji i amplitudi), prelaske s jednog glasa na drugi, (koartikulacija) i sl.



Slika 18. Zumiranje dijela signala i očitavanje vremenskih parametara

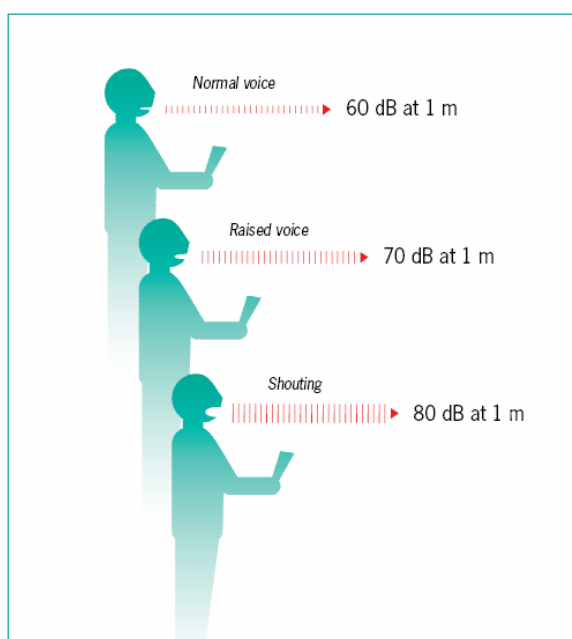
Prije početka vremenske analize možemo prema potrebi zumirati prikaz pomoću povećala (povećati ili smanjiti vremensku rezoluciju), a cijeli oscilogram možemo pomicati lijevo-desno kako bismo dobili vidljiv onaj dio koji nas zanima. Pomicanje cijelog zapisa vršimo pomoću zelenog kursora (zeleni kvadrat u crnoj uskoj traci iznad oscilograma), tako da mišem dođemo na taj kursor, pritisnemo lijevi gumb, te ga pomičemo lijevo (prema početku zvučnog zapisa) ili desno (prema kraju).

Trajanje određenog vremenskog segmenta možemo vrlo precizno izmjeriti tako da prethodno mišem obilježimo taj segment, a zatim možemo točno očitati vrijeme početka tog segmenta, kraj segmenta i ukupno trajanje.

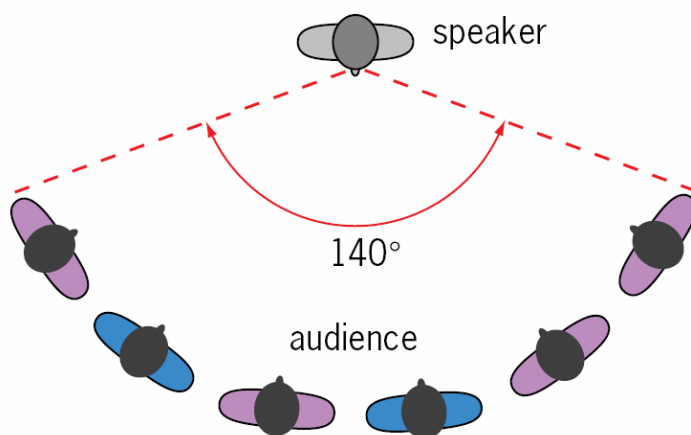
Da bi nam ovi brojevi pokazivali sekunde i milisekunde, potrebno je prethodno to setirati; preko glavnog menija odaberemo opcije *View - Display Time Format - Decimal (mm:ss:dd)*. Ova je opcija aktivna kada stavimo kvačicu ispred opcije *Decimal*.

4. ARHITEKTONSKA AKUSTIKA

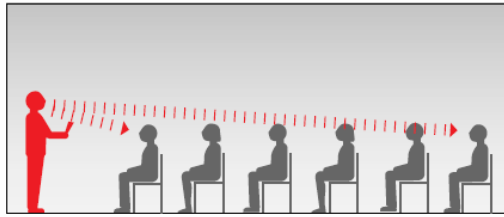
Bavi se istraživanjem širenja zvuka i popratnim pojavama koje nastaju u zatvorenim prostorima, kao što su učionice, koncertne dvorane i sl. Glavni cilj je omogućiti dobru razumljivost govora i drugih zvukova (npr. glazbe) u svim dijelovima prostorije. To se postiže različitim pojačavanjem ili gušenjem zvuka te postavljanjem odgovarajućih elemenata koji poboljšavaju apsorpciju, difuziju ili refleksiju zvučnih valova. Slijede ilustracije s primjerima postavljanja ozvučenja za različite prostorije i za različite svrhe (Building Bulletin 93: pogledati na Internet adresi: <http://www.teachernet.gov.uk/management/resourcesfinanceandbuilding/schoolbuildings/environ/acoustics/>)



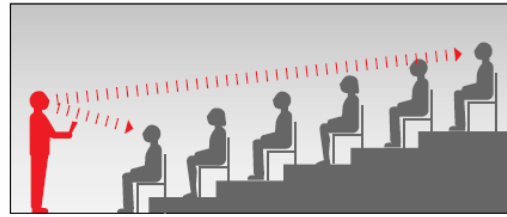
Slika 19. Glasnoća govora mjerena u SPL dB na udaljenosti na 1 metar od govornika



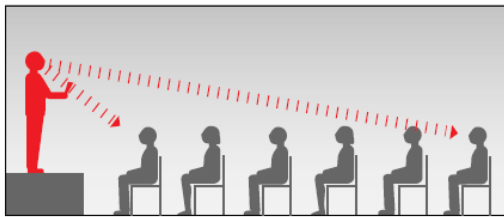
Slika 20. Optimalan kut razmještaja slušača u odnosu na govornika



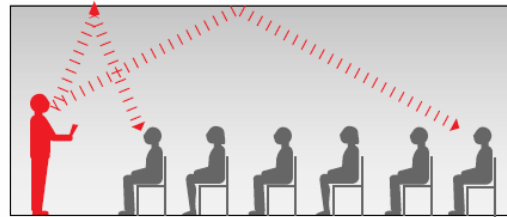
(a) Adequate loudness is essential, direct sound must have a clear unobstructed path.



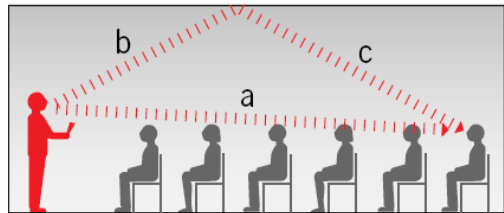
(b) Loudness of direct sound towards rear is increased with raked seating.



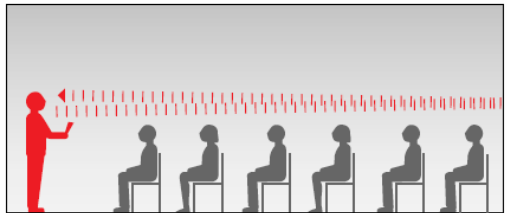
(c) Loudness of direct sound can be increased by putting the speaker on a platform.



(d) Reflected sound enhances direct sound if time delay is less than 50 milliseconds.

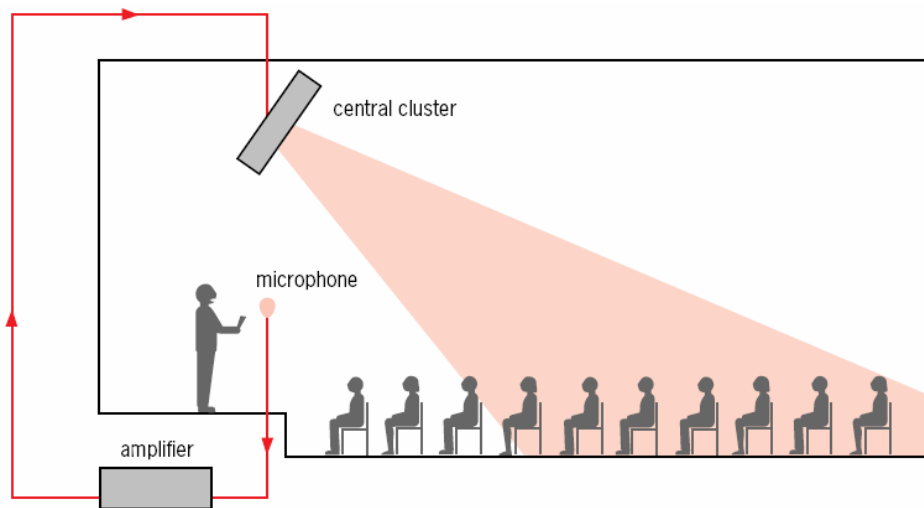


(e) For useful sound reflections, additional path travelled by reflected sound must be less than 17 m: $b+c - a < 17$ m.



(f) Rear wall can cause a disturbing echo for speakers if over 8.5 m away. Rear wall should be absorbing or diffusing.

Slika 21. Primjeri postizanja dobre razumljivosti slušanja govora.



Slika 22. Primjer postavljanja ozvučenja za postizanje dobre razumljivosti govora

4.1. NEKE POJAVE KOD ŠIRENJA ZVUKA

4.1.1. REFLEKSIJA

Ako zvučni val prilikom širenja naiđe na neku plohu, on će se od te plohe odbiti (reflektirati) prema istim zakonitostima koje vrijede za svjetlosne zrake u optici. Prema zakonu refleksije kut upada jednak je kutu refleksije, a osi dolazećeg i reflektiranog zvučnog vala bit će uvijek u istoj ravnini.

4.1.2. OGIB ZVUKA (DIFRAKCIJA, SKRETANJE)

Za razliku od svjetlosnih valove koji idu samo pravocrtno, zvučni valovi zaobilaze zapreku i mijenjaju smjer širenja (zato zvuk čujemo i kada nismo u vizualnom kontaktu s njegovim izvorom).

4.1.3. APSORPCIJA (UPIJANJE ZVUKA)

Prilikom prolaska kroz elastične medije (prijenosnike zvuka) dolazi do slabljenja zvuka zbog njegova upijanja, a pri tome se apsorbirana zvučna energija pretvara u toplinsku.

4.1.4. REZONANCIJA

To je osobina krutih tijela i šupljina ispunjenih zrakom da pod utjecajem zvuka (čistog tona) iz okoline počinju sama titrati. Kao rezultat rezonancije u takvom tijelu koje titra (rezonatoru) javit će se frekvencije koje su harmonici izvornog tona koji je izazvao rezonanciju. Broj i intenzitet pojedinih harmonika ovisit će o frekvenciji izvornog tona, veličini (volumenu) i obliku rezonatora, a također će ovisiti o fizikalnim svojstvima materijala od kojega je rezonator sačinjen. Pojava rezonancije koristi se kod većine glazbala pa se pomoću određenih karakteristika rezonatora dobiva i željeni boja zvuka nekog instrumenta.

4.1.5. DISTORZIJA (IZOBLIČENJE ZVUKA)

To je pojava kada prilikom prijenosa zvuka direktnim ili elektroakustičkim putem konačni zvuk nije identičan početnom zvuku, tj. došlo je do promjena. Postoje dva osnovna tipa izobličenja:

- kada dođe do intenzitetskih promjena u dijelovima spektra (intenziteti krajnjeg signala nisu u istom međusobnom odnosu kao kod izvornog zvuka). Dakle, početni i završni sadrže iste frekvencije spektra ali su intenziteti pojedinih dijelova spektra promijenjeni. To su linearna izobličenja koje uho osjeća samo kao promjenu boje zvuka;
- drugi oblik izobličenja nastaje pojavom komponenata u krajnjem signalu koje izvorni zvuk nije imao. To su nelinearna izobličenja. Ona su za uho neugodnija jer obično u sebi sadrže dodatne šumove i tonove koji otežavaju razumljivost zvučne poruke.

5. ELEKTROAKUSTIKA

Elektroakustika je grana akustike koja se bavi uređajima za snimanje, prijenos i reprodukciju zvuka. Oni pretvaraju zvuk u el. energiju ili obrnuto. Među takvim uređajima najčešće se spominju mikrofoni, slušalice, zvučnici i filtri a za njihov rad potrebna su i različita pojačala ili pretpojačala.

5.1. MIKROFONI

Mikrofon je elektroakustički uređaj koji energiju zvučnih valova pretvara u električnu. Pod utjecajem zvučnog tlaka (stalnih promjena tlaka - titranja čestica), membrana mikrofona također počinje titrati istom brzinom kao i sam zvučni tlak. Tada se zvučno titranje pretvara u mehaničko, a zatim se mehaničko titranje pretvara u električno. Električno titranje manifestira se kao izmjenični napon na izlazu mikrofona, a on po svojim promjenama frekvencije i amplituda treba biti što vjerniji izvornom zvučnom tlaku. Ukoliko mikrofon nema jednaku osjetljivost na svim frekvencijama (promjene intenziteta napona ne slijede jednako promjene zvuka), tada kažemo da mikrofon unosi linearna izobličenja. Linearna izobličenja mikrofona predstavljena su njegovom frekvencijskom karakteristikom. No osim linearnih izobličenja, na izlazu mikrofona mogu se u naponu pojaviti harmonici kojih nema u izvornom zvuku. Tada kažemo da na mikrofону nastaju nelinearna izobličenja. Spomenimo još da postoje naprave slične mikrofónu (specijalne vrste mikrofona), kao što su:

- laringofon (prislanja se direktno na kožu vrata u području larinksa), koristi se za komunikaciju u uvjetima velike buke (npr. u tenku za komunikaciju među posadom)
- hidrofon - za podvodna snimanja zvuka (pomorstvo, bioakustika)
- geofon – za mjerenja zvučnih valova koji se šire kroz zemlju
- akcelerometar - za registriranje vibracija.

Da bi pravilno odabrali mikrofon za određenu namjenu treba poznavati karakteristike mikrofona:

- princip rada,
- osjetljivost,
- usmjerenost (direktivnost),
- prijenosni opseg (frekvencijska karakteristika),
- impedancija (unutrašnji otpor mikrofona).

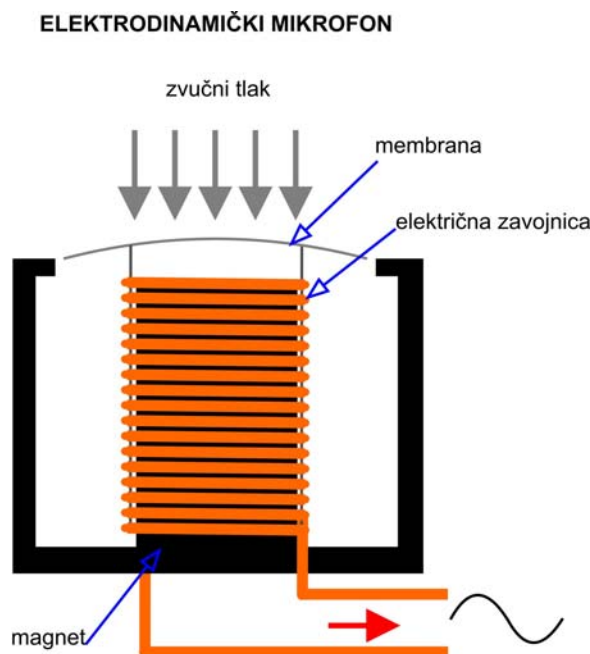
Prema principu rada spomenut ćemo tri vrste mikrofona:

- kristalni
- dinamički
- kondenzatorski.

Kristalni mikrofoni su slabije kvalitete i zato nisu pogodni za logopede. Princip rada, najjednostavnije možemo opisati kao titranje membrane koje se prenosi na pločicu kristala (npr.

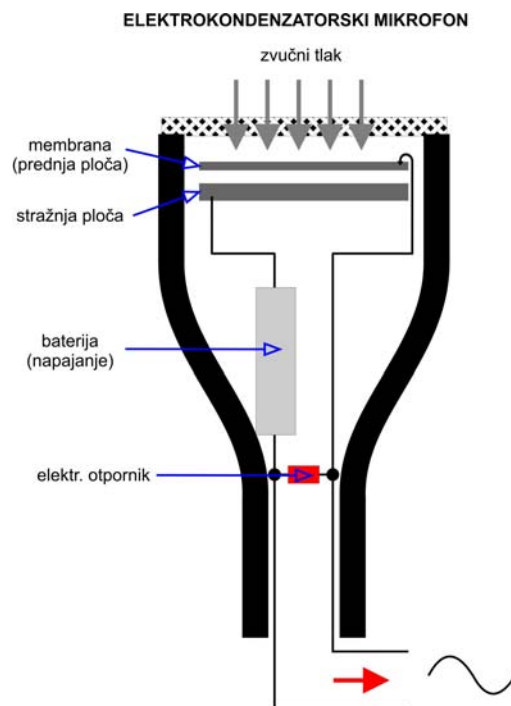
kvarca), koji ima svojstvo da zbog pritiska ili savijanja na svojim krajevima stvara napon koji odgovara promjenama zvučnog tlaka (primjer: keramička zvučnica na gramofonu - savijanje, upaljač za cigarete - pritisak - piezo-efekt).

Dinamički mikrofon sastoji se od membrane na koju je pričvršćena zavojnica (svitak) od tankog električnog vodiča (npr. bakrena žica) i permanentnog magneta. Titranjem membrane sa zavojnicom koja je smještena u magnetskom polju na krajevima zavojnice stvara se inducirani izmjeni (zbog stalnih promjena magnetskog polja).



Slika 23. Shematski prikaz elektro-dinamičkog mikrofona

Kondenzatorski mikrofon sastoji se od dvije paralelne ploče (koje čine kondenzator) od kojih jedna membrana (vanjska) vibrira pod utjecajem zvučnog tlaka. Ploče kondenzatora priključene su na stalni izvor struje (baterija) uslijed čega se na tim pločama nalazi stalna količina elektriciteta. Paralelno sa kondenzatorom nalazi se jedan otpornik. Uslijed titranja jedne membrane, stalno se mijenja razmak među pločama kondenzatora, a time se mijenja i njegov kapacitet. To dovodi do naizmjeničnog punjenja i pražnjenja kondenzatora. Struja nabijanja i izbijanja kondenzatora dovodi do promjena napona na otporniku, a te promjene identične su promjenama zvučnog tlaka. Ovi mikrofoni spadaju među najkvalitetnije.



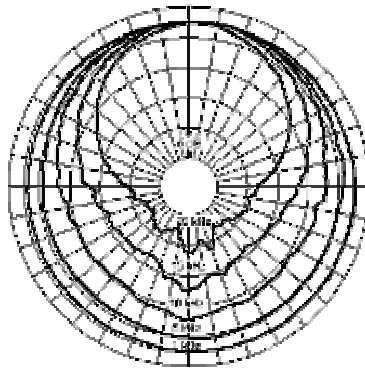
Slika 24. Shematski prikaz elektro-kondenzatorskog mikrofona



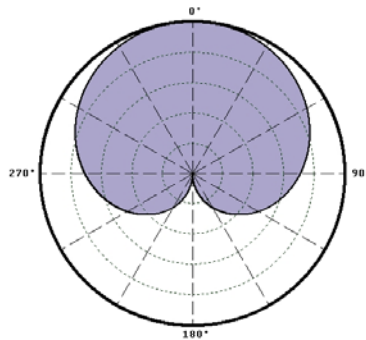
Slika 25. Elektro-kondenzatorski mikroskop Behringer B-5

Osjetljivost mikrofona definira se kao izlazni napon mikrofona u odnosu na zvučni tlak (mV/Pa), a najčešće se osjetljivost mjeri na frekvenciji od 1 kHz. Prosječna osjetljivost dinamičkih mikrofona je oko 1 do 3 mV/Pa , a kondenzatorskih do 10 mV/Pa .

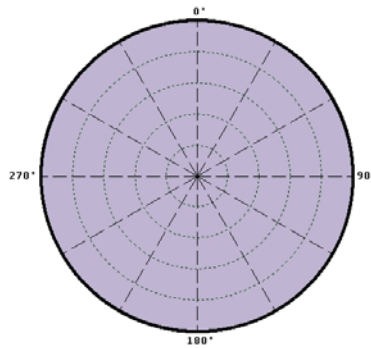
Usmjerenost (direktivnost) mikrofona definira se kao zavisnost osjetljivosti mikrofona od kuta pod kojim dolaze zvučni valovi. Kut se mjeri u odnosu na os mikrofona, a prikazuje se u obliku polarnog dijagrama. Na dijagramu se obično nalazi više nacrtanih krivulja (za različite frekvencije), koje pokazuju kakva je osjetljivost mikrofona za pojedine frekvencije ovisno o kutu pod kojim dolazi zvuk. Krivulje pokazuju decibelske omjere osjetljivosti. Prema usmjerenosti mikrofona dijelimo na neusmjerene (omnidirekcijske, tzv. "kugle") koji primaju zvuk jednako dobro iz svih smjerova i usmjerene (kardioidne) koji primaju zvuk samo u užem području osi mikrofona.



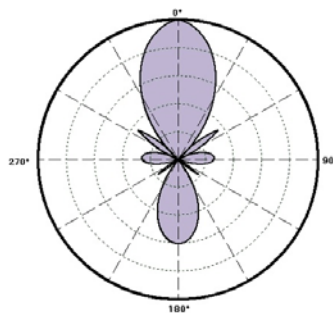
Slika 26. Polarni dijagram



Slika 27. Polarni dijagram - kardioidni mikrofon

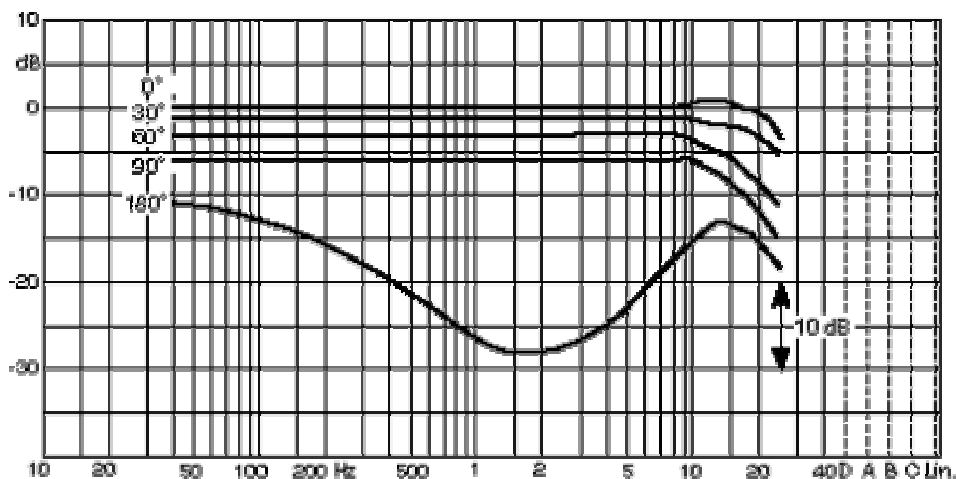


Slika 28. Polarni dijagram - omnidirekionalni mikrofon

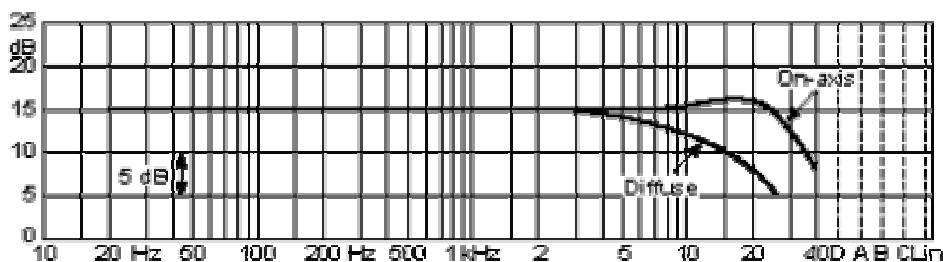


Slika 29. Polarni dijagram – super/hiper kardioidni mikrofon

Frekvencijska karakteristika (prijenosni opseg) pokazuje raspon frekvencija koje mikrofon može registrirati. Dinamički mikrofoni najčešće imaju uži opseg od kondenzatorskih što im je nedostatak. Osim frekvencijskog opsega važna je i linearnost opsega (sa što manje linearnih izobličenja). Kod kvalitetnih mikrofona (npr. mjernih) uz frekvencijski navodi se i dinamički opseg (raspon intenziteta zvuka u dB koje mikrofon može registrirati).



Slika 30. Frekvencijska karakteristika mikrofona s obzirom na kut dolaska zvuka



Slika 31. Frekvencijska karakteristika mjernog mikrofona

Impedancija je unutrašnji otpor mikrofona. Unutrašnji otpor dinamičkih mikrofona iskazuje se kao otpor u omima (najčešće 200-600 Ω), dok se kod kondenzatorskih mikrofona impedancija mjeri kao kapacitet (oko 100 pF). Podatak o impedanciji mora se znati jer i mikrofonska pretpojačala također imaju svoju ulaznu impedanciju, pa obje impedancije moraju biti međusobno kompatibilne. Inače, ako su impedancije neprilagođene dolazi i do promjene u karakteristikama mikrofona, npr. javljaju se nova linearna izobličenja. Mikrofonski kabel je također uračunat u impedanciju mikrofona, pa promjenom njegove dužine (npr. produžavanjem) može također doći do promjena npr. frekvencijske karakteristike mikrofona.

Kod izbora mikrofona treba imati na umu nekoliko općih činjenica. Elektrodinamički mikrofoni bolje podnose velike intenzitete zvuka (npr. vrlo glasno pjevanje ili blizinu vrlo glasnih instrumenta poput bubnjeva). Njihova je membrana deblja i tromija nego kod elektrokondenzatorskih mikrofona. Zbog toga slabije registriraju visoke frekvencije i nemaju linearnu frekvencijsku

karakteristiku kao kondenzatorski mikrofoni. Stoga su kondenzatorski mikrofoni pogodniji za govor i akustičku analizu (linearna frekvencijska karakteristika i veća osjetljivost) a zbog tih karakteristika i mjerni mikrofoni se rade kao elektrokondenzatorski.

Na kraju treba napomenuti da je mikrofonski uređaj s kojim treba pažljivo rukovati. Nagli udarci ili pad mikrofona mogu ga oštetiti i promijeniti karakteristike. Izlaganje mikrofona visokoj temperaturi ili vlazi također može biti štetno.



Slika 32. Kalibrator mjernog mikrofona i mjerni mikrofonski uređaj

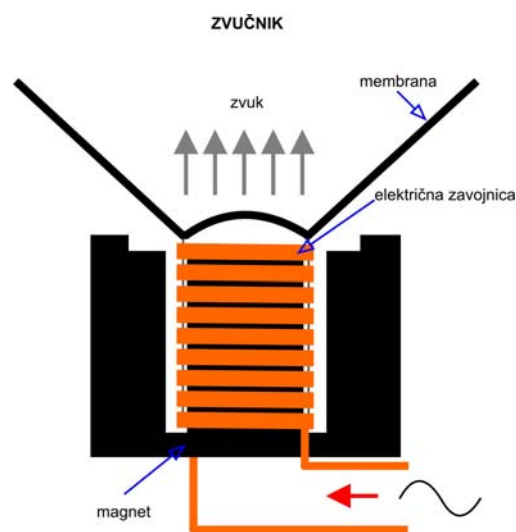
5.2. ZVUČNICI

Zvučnici su po svom načinu rada suprotni mikrofonom. Oni električnu energiju pretvaraju u zvučnu. Prema principu rada, kao i kod mikrofona postoji više tipova zvučnika (elektrodinamički, piezoelektrični, elektromagnetski i elektrostatički). Mi ćemo objasniti samo elektrodinamički zvučnik koji se najviše koristi.



Slika 33. Elektrodinamički zvučnik

Elektrodinamički zvučnik djeluje suprotno od elektrodinamičkog mikrofona. U jakom magnetnom polju nalazi se pokretljiva zavojnica kroz koju teče izmjenična struja proporcionalna frekvenciji i amplitudi zvuka. Izmjenična struja u zavojnici stvara izmjenično elektromagnetsko polje koje će zbog blizine magneta čas privlačiti, čas odbijati zavojnicu. Kako je zavojnica povezana sa membranom zvučnika i ona će titrati. Titranje membrane prenosi se na čestice zraka pa će nastati zvučni valovi. Treba još napomenuti da se zvučni val ispred membrane i val iza membrane nalaze u protufazi. Kada se ispred zvučnika pojavi nadtlak, istovremeno se iza zvučnika stvara podtlak.



Slika 34. Presjek (shema) elektrodinamičkog zvučnika



Slika 35. Elektrodinamičke slušalice

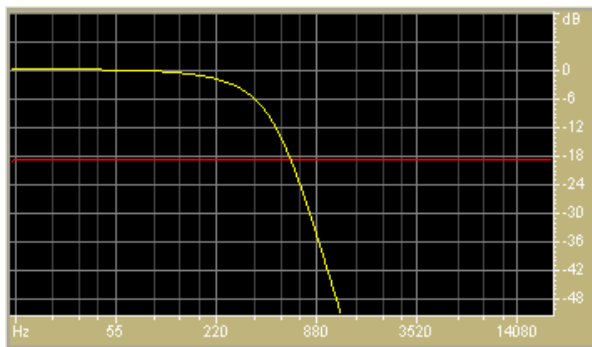
Za svaki zvučnik navodi se njegova nazivna snaga u Watima (W) kojom se zvučnik smije trajno opteretiti bez opasnosti po zvučnik, a uz prihvatljiva izobličenja. Uz nazivnu se navodi često i muzička snaga koja je znatno veća od nazivne, a odnosi se na maksimalnu snagu koja se povremeno javlja prilikom reprodukcije glazbe. Za zvučnik također kao i za mikrofonski treba znati impedanciju (obično 4 -16 Ω). Osim toga navodi se frekvencijski opseg zvučnika, njegova rezonantna frekvencija (to je obično donja granična frekvencija koju treba eliminirati) i maksimalni intenzitet zvuka (dB SPL) mjereno na udaljenosti 1m od zvučnika.

Spomenimo još dva uređaja koji su slični zvučniku. Slušalice koje rade na istim principima kao i zvučnici, ali su manje i koriste se za individualno slušanje. Vibratori također koriste iste principe rada kao zvučnici, a namijenjeni su pretvaranje električne energije u vibraciju koja je po spektru identična zvuku. Vibracija se preko krute membrane vibratora prenosi direktnim kontaktom na neki dio tijela, pa se zvuk doživljava kao vibracija. Vibrator se koristi u audiometriji za ispitivanje koštane vodljivosti te kod nekih slušnih testova, a također se koristi i u rehabilitaciji osoba oštećena sluha.

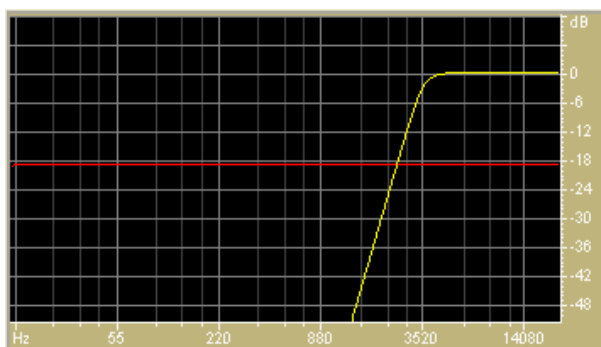
5.3. FILTRI

U logopediji se dosta često koristimo različitim filtrima koji se nalaze u različitim elektroakustičkim uređajima (npr. za korekciju govora, u istraživanju govorne percepcije i produkcije, u slušnim aparatima itd.). Filtri su naprave tako konstruirane da mogu mijenjati spektralni oblik zvuka što subjektivno doživljavamo kao promjenu boje zvuka. S obzirom na tehnologiju kojom su filtri izrađeni, možemo ih podijeliti na akustičke i elektroakustičke filtre. Pod akustičkim filtrima podrazumijevamo mehaničke konstrukcije i naprave koje su tako konstruirane da svojom rezonancijom djeluju kao nisko-propusni, visoko-propusni ili pojasni filtri. Primjenjuju se u arhitektonskoj akustici. Elektroakustički filtri izvode se kao različiti elektronski sklopovi (npr. analogni ili digitalni) koji svojim rezonancijskim karakteristikama pridonose gušenju ili propuštanju izmjeničnog napona određenih frekvencija.

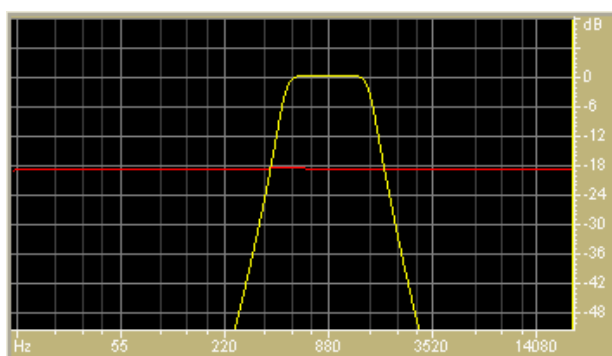
5.3.1. TIPOVI FILTERA



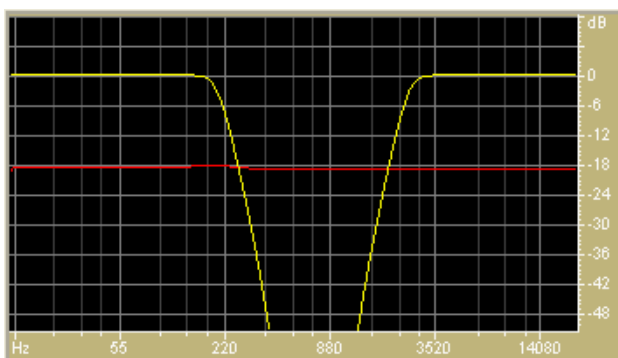
Slika 36. Nisko-propusni filter - propušta niske frekvencije do gornje granične frekvencije



Slika 37. Visoko-propusni filter - propušta visoke frekvencije do donje granične frekvencije

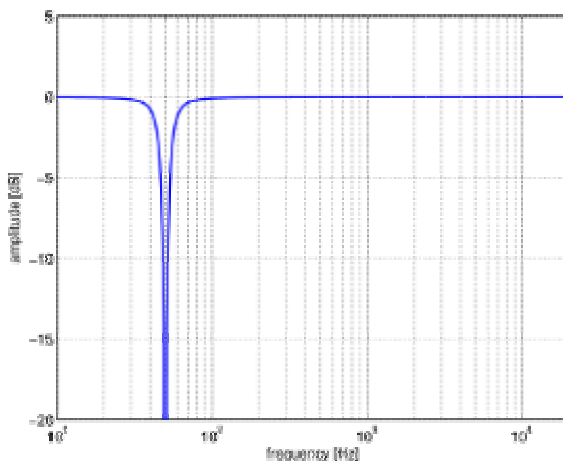


Slika 38. Pojasni propusni filter



Slika 39. Pojasni zaporni filter

Pojasni filter propušta/guši frekvencije unutar određenog pojasa koji je definiran donjom i gornjom graničnom frekvencijom. Pojasni zaporni filter naziva se još i pojasna brana. Efekt pojasnog propusnog filtra može se dobiti serijskim spajanjem nisko-propusnog i visoko-propusnog filtra. Pri tome granična frekvencija nisko-propusnog filtra mora biti viša od granične frekvencije visoko-propusnog filtra.

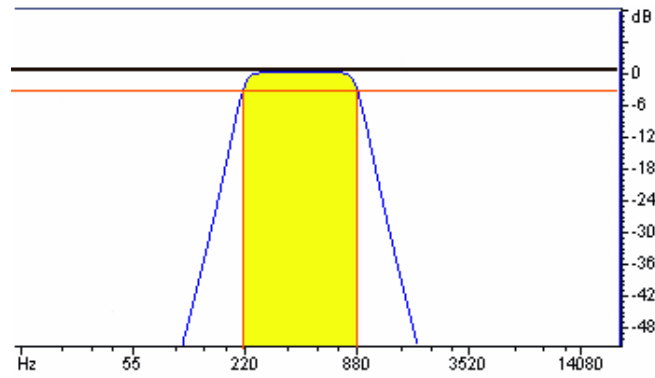


Slika 40. Posebna izvedba zapornog filtra (Notch filter 50 Hz)

5.3.2. ODREĐIVANJE KARAKTERISTIKA FILTRA

a) Određivanje područja propusnosti filtra (širine pojasa) vrši se tako da se na filtarskoj krivulji rezonancije odredi rezonantna frekvencija filtra (najviši vrh krivulje), a zatim se na lijevom i/ili desnom boku krivulje očitaju sjecišta točaka frekvencija i intenziteta koji je za 3 dB niži od rezonantnog vrha. Ako bismo rezonantnu krivulju iskazali u jedinicama snage zvuka, a ne intenziteta (dB), tada granične frekvencije u odnosu na rezonantnu frekvenciju imaju upola manju snagu. Sve frekvencije unutar graničnih frekvencija smatraju se korisnima jer prilikom reprodukcije zvuka proizvode struju koja nije znatno slabija od maksimalne rezonantne struje (ako je nivo struje na vrhu = 1, onda je kod graničnih frekvencija=0.707). Isti odnosi kao kod struje vrijede i za napon. Drugim riječima struja i napon imat će na graničnim frekvencijama 70,7 % vrijednosti od maksimuma (100 %) na rezonantnoj frekvenciji, a snaga na graničnim frekvencijama pasti će na 50 %. Pojasni filtri izvode se prema širini pojasa najčešće kao oktavni, poluoktavni i terčni filtri.

b) Strmina gušenja frekvencija izvan propusnog područja filtra izražava se najčešće u dB/okt., a ponekad u dB/dekadi. Što je ovo gušenje veće (“oštro rezanje”), a propusni pojas uži - filter ima bolju selektivnost.

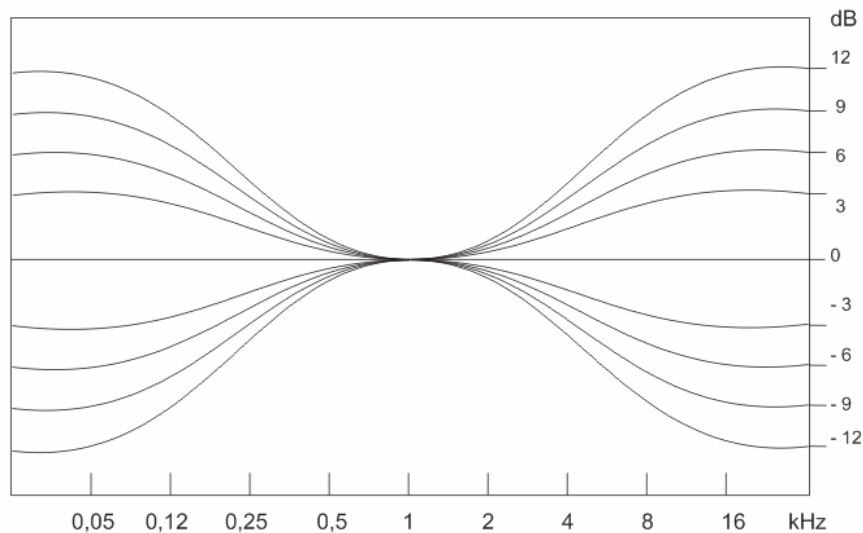


Slika 41. Određivanje područja (pojasa) djelovanja filtra

5.3.4. POSEBNE IZVEDBE FILTARA

5.3.4.1. TON-BLENDA ("LEPEZA")

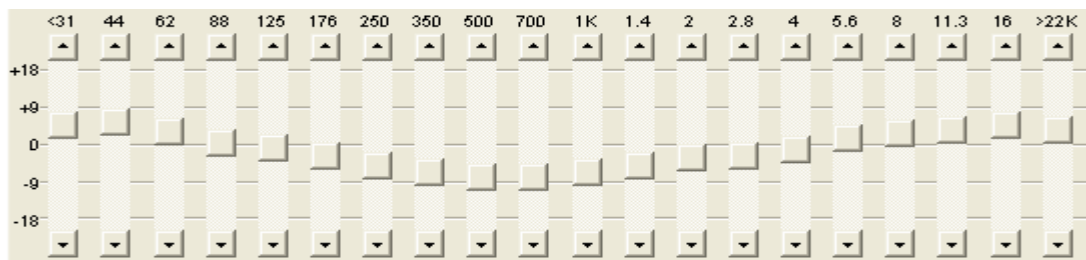
ima jednu središnju graničnu frekvenciju na koju sam filter nema utjecaja (obično je to na 1000 Hz), a od te frekvencije, prema nižim i prema višim frekvencijama, mogu se dobiti različiti nagibi gušenja ili propuštanja. Efekt filtra pojačava se prema periferiji tj. što je neka frekvencija udaljenija od središta filtriranja je jače.



Slika 42. Filter – ton blenda ("lepeza")

5.3.4.2. EKVALIZATOR (EQUALISER - EKVALIZER)

je kombinirani sustav s većim brojem pojasnih filtera kojima se obično pokriva cjelokupno čujno frekvencijsko područje. Svi filteri izvedeni su tako da mogu biti zaporni ili propusni, pri čemu se kontinuirano može mijenjati nivo pojačanja ili gušenja.



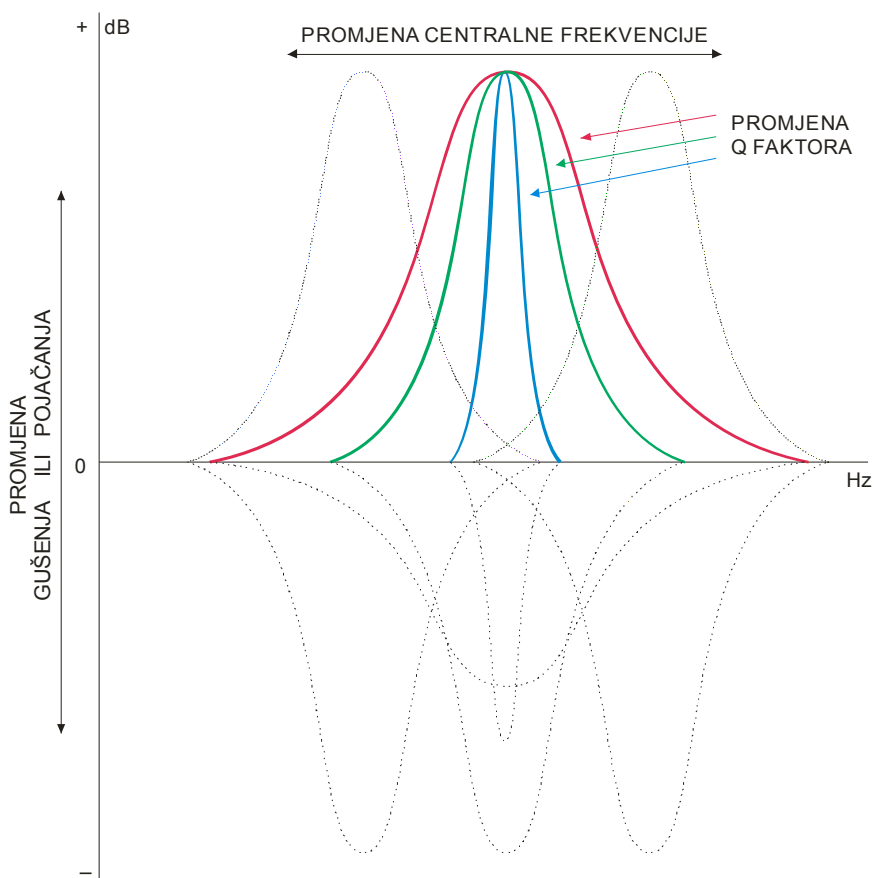
Slika 43. Grafički poluoctavni equaliser (ekvilizator)

5.3.4.3. PARAMETARSKI EKVILIZATOR

Ima mogućnost mijenjanja svih parametara filtra a to su:

- promjena rezonantne (centralne) frekvencije,
- promjena Q - faktora (faktor dobrote filtra),
- promjena razine gušenja ili propuštanja (pojačanja).

Q faktor ili faktor dobrote je mjera kojom se opisuje omjer centralne frekvencije i pojasne širine filtra. Za filter se kaže da ima veliki Q faktor ukoliko ima propusni opseg koji je uzak u odnosu na centralnu frekvenciju. Na taj način se faktor dobrote može definirati kao vrijednost centralne frekvencije podijeljene sa širinom pojasa. Q faktor predstavlja ujedno i promjenu selektivnosti filtra – što je Q faktor veći, filter ima bolju selektivnost.



Slika 44. Parametarski ekvilizator

7. FIZIOLOŠKA I SLUŠNA AKUSTIKA

Ljudsko uho nije objektivan "mjerni mikrofon" i njegova je osjetljivost za frekvencije i intenzitete vrlo neujednačena. Možemo reći da je naš sluh optimalno prilagođen upravo govornoj komunikaciji ali isto tako i za razvoj govora vrijedi da se govorni zvuk javlja upravo tamo gdje je uho najosjetljivije.

Uredan i dobar sluh izuzetno nam je važan za svakodnevni život, za komunikaciju s drugim ljudima, za učenje, za obavljanje posla pa i za uživanje u pjesmi, zvukovima glazbe, zvukovima iz prirode (šum morskih valova, cvrkut ptica....). Puno je razloga zbog kojih treba brinuti o našem sluhu (jednako kao i o vidu) jer o njemu u velikoj mjeri ovise naše svakodnevne aktivnosti i život.

Dugotrajna izloženost prejakim zvukovima, različitim kemijskom spojevima ili lijekovima može dovesti do trajnog oštećenje sluha. Međutim, ako je izloženost npr. buci bila kraća sluh će se nakon nekog vremena oporaviti. Ukoliko dođe do trajnog oštećenja sluha više ga nije moguće poboljšati. Stoga je jako važno biti na oprezu ako smo kontinuirano izloženi štetnim faktorima koji oslabljuju sluh. U takvim je okolnostima poželjno svakih 6 mjeseci provesti testiranje sluha kako bi se na vrijeme uočila oštećenja te poduzela pravovremena i odgovarajuća zaštita. Jedino pravovremena i rana detekcija oštećenja sluha mogu spriječiti trajno oštećenje i propadanje sluha. Kontinuirana izloženost štetnim faktorima dovodi do tihog, podmuklog i trajnog oštećenja, nema nikakvih bolova i ništa ne slutimo sve dok ne postanemo svjesni da imamo poteškoća u govornoj komunikaciji, ne čujemo jasno i razgovijetno, sugovornika preko telefona ne čujemo dobro, televizor ili radio postali su nam pretihi... Tada je već vjerojatno došlo do trajnog i značajnog oštećenja!

Svatko je puno puta iskusio kako gledanje u jaki izvor svjetlosti može privremeno "oslijepiti" vid (npr. izravno gledanje u svjetlost električnog varenja, u sunce ili direktno u svjetiljku). Nakon takvog šoka za oko ostajemo privremeno "slijepi", ne možemo gledati, izoštriti vidnu sliku, čitati ili prepoznavati nijanse boja. Isto se događa i s uhom ako je izloženo prejakoj buci. Kao što izbjegavamo izravno gledati u jaku svjetlost isto tako moramo izbjegavati jaku buku!

Stoga je važno redovito ispitivanje sluha za pravovremeno otkrivanje privremenog pomaka slušnog praga - PPSP (Temporary Threshold Shift - TTS). PPSP obično nestaje već nakon 16 do 18 sati nakon prestanka izloženosti štetnim faktorima te će se slušni prag nakon toga vremena oporavka ponovo vratiti na normalu. Međutim, ukoliko ste izloženi seriji epizoda sa štetnim faktorima, a s prekratkim vremenskim periodima oporavka između tih epizoda, nastupit će trajno oštećenje sluha.

Većina teških oštećenja sluha nastaje već prije ili tijekom rođenja. Na takva oštećenja nije na

žalost moguće utjecati i popraviti stanje. Stoga se kod većine takve djece utvrđuje stupanj i vrsta oštećenja te se na temelju toga dodjeljuje slušni aparat a u novije vrijeme operativno se ugrađuje kohlearni implant. Znatno veći postotak oštećenja javlja se tijekom života. Najčešće ta oštećenja nisu toliko teška kao urođena ali tim osobama mogu stvarati velike probleme u svakodnevnom životu.

7.1. SLUŠNO POLJE

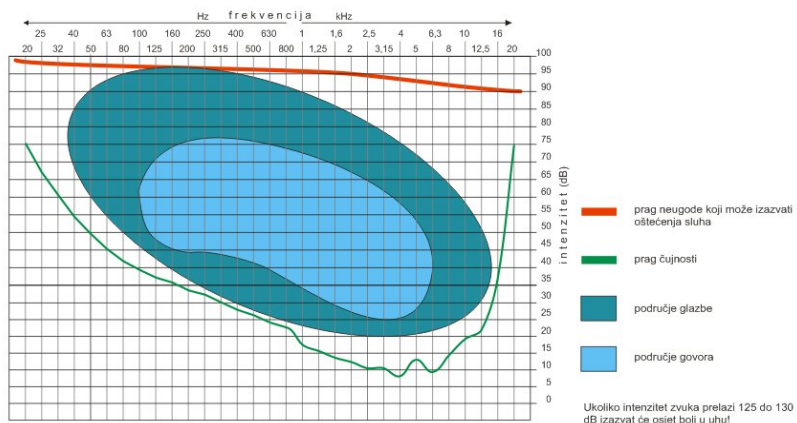
Mlada osoba (20 godišnjak) može čuti frekvencije u rasponu od 16 Hz do 20 kHz ali osjet sluha nije jednak u cijelom čujnom području, slušanje nije jednako za sve frekvencije. Najveća osjetljivost nalazi se u području oko 3 kHz. Na ovim frekvencijama prag čujnosti može biti čak ispod 0 dB SPL (oko -5 dB). Ova osjetljivost može se postići samo u posebnom tihom ambijentu gdje se ispituje sluh kao npr. u kabini za audiometriju ili gluhoj komori. Međutim, u "normalnom" prostoru kao npr. u tihoj sobi prag sluha je viši i on će imati vrijednost od 5 do 10 dB SPL. Prag čujnosti u tihoj prostoriji prikazan je zelenom linijom na slici (Heđever, 2008).

Na fiziološki najnižoj kao i na najvišoj čujnoj frekvenciji prag sluha je znatno viši i potreban je jaki podražaj od 75 dB SPL da bi zamijetili te frekvencije. Osim praga čujnosti važan je i prag neugode kada zvuk postaje neugodan za slušanje a to je na razini od oko 90 dB i približno je jednak na svim frekvencijama. Stoga je važno da u rehabilitaciji ne pojačavamo glasnoću preko ovoga praga jer nije ugodno a pretjeranom glasnoćom postizemo suprotan efekt!

Pojačamo li na slušalicama glasnoću vlastitog govora za 2 dB iznad fiziološkog optimuma slušanja, rezultat će biti snižavanje razine govora za 1 dB. Svako daljnje povećanje glasnoće od po 2dB dovodi do stišavanja govora za 1dB. Zato u rehabilitaciji govora i slušanja treba pažljivo odrediti glasnoću kod korištenja elektroakustičkih pomagala jer možemo napraviti više štete nego koristi. Ukoliko intenzitet zvuka pređe 125 do 130 dB zvučni podražaj postaje bolan.

Ako slušatelja pretjerano zaglušimo maskingom ili nekim drugim zvukom na slušalicama, on će pokušati govoriti glasnije kako bi "nadglasao" ometajući zvuk. Ova pojava "nadglasavanja" buke iz okoline naziva se "Lombardov efekt" i svakodnevno se susrećemo s ovom pojavom kada razgovaramo sa sugovornikom u bučnom kafiću, na prometnoj ulici ili u nekoj drugoj bučnoj okolini. Zato treba paziti na glasnoću jer nam najčešće nije cilj izazvati masking efekt.

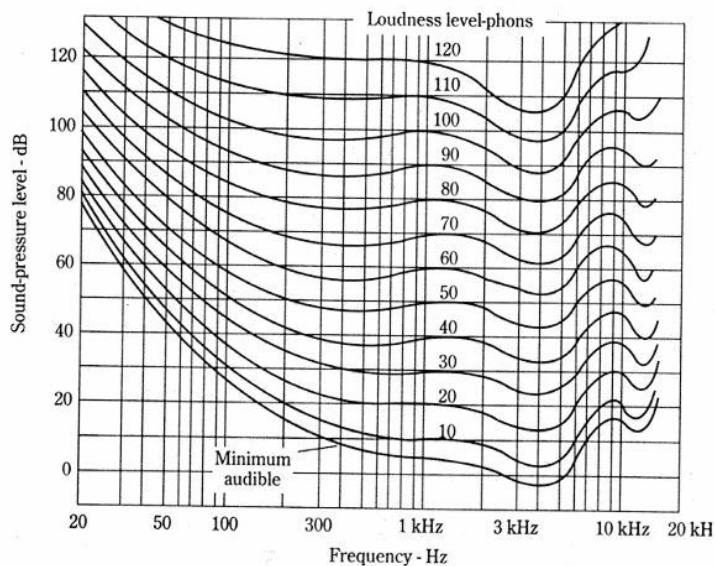
PODRUČJE SLUHA



Slika 45. Slušno područje (polje) zdravog sluha.

Tablica 6. ISO norme za audiometriju (frekvencije i njihovi intenziteti)

frekvencija (Hz)	razina intenziteta (dB)
125	46
250	25
500	11
1000	6,5
1500	6,5
2000	8,5
3000	7,5
4000	9,5
6000	8
8000	9,5



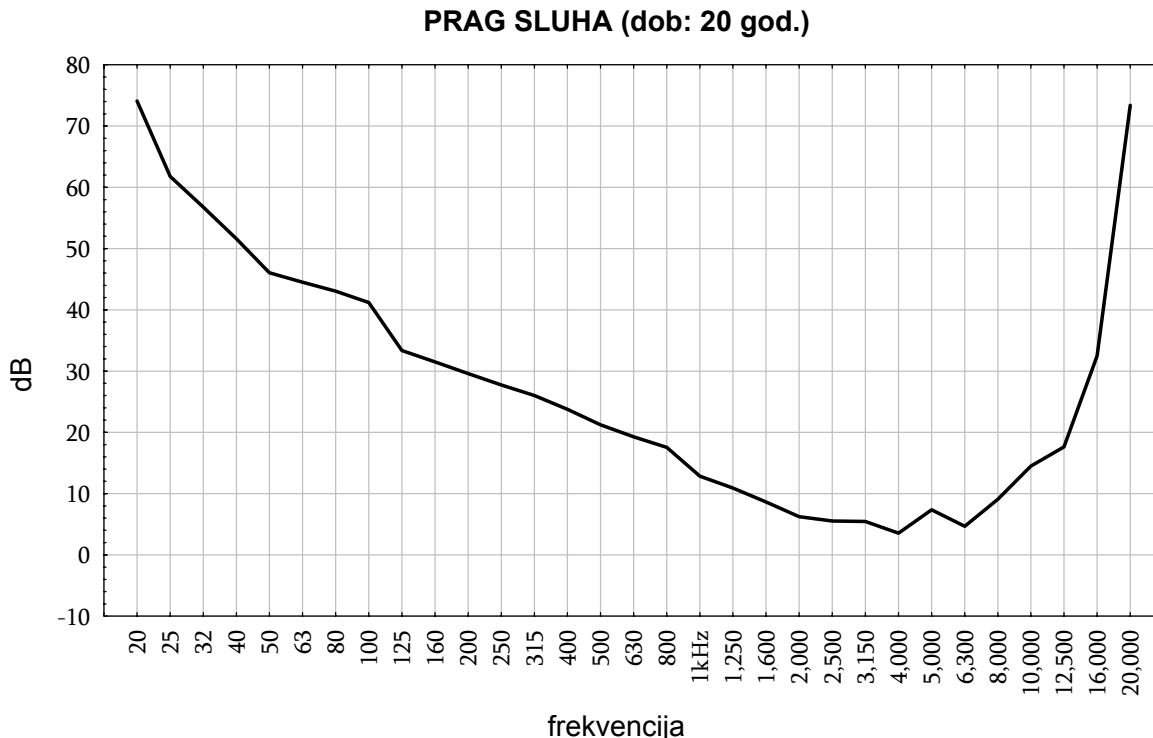
Slika 46. Izofone - krivulje jednake glasnoće³

³ preuzeto sa Internet stranice: <http://it.wikipedia.org/wiki/File:Isophones.JPG>

7.1.1. PRAG SLUHA

Za mjerenje praga sluha najčešće se koriste čisti tonovi sinusoidnog oblika. Za ispitivanje sluha može se kao izvor zvuka koristiti zvučnik (mjerenje u slobodnom zvučnom polju) ili slušalica (kad se mjeri minimalni čujni tlak). Ako se kao izvor zvuka koristi zvučnik, tada se mjeri minimalno čujno polje (MAF - minimum audible field). Kod laboratorijskih testiranja na mjestu na kojem je bila glava ispitanika kojem se određuje prag sluha, postavlja se mjerni mikrofoni. Ako su izvor zvuka slušalice, mjeri se minimalni čujni pritisak (MAP - minimum audible pressure). U tom slučaju mjerni mikrofoni postavljaju se istovremeno sa slušalicama kojima se određuje prag slušanja i to unutar slušalice ili unutar slušnog kanala. Rezultati koji se dobivaju ovakvim različitim mjerenjima međusobno se razlikuju. Kod mjerenja minimalnog čujnog zvučnog tlaka (MAP), same slušalice, njihov tip i način postavljanja značajno djeluju na rezultat mjerenja. Kod mjerenja minimalnog čujnog polja (MAF), značajan faktor koji djeluje na rezultate je kut (azimut) pod kojim zvuk dolazi do slušatelja.

Najmanji zvučni tlak koji zdravo ljudsko uho mladog čovjeka može čuti iznosi približno 20 μPa (to je referentni zvučni tlak i odgovara referentnoj razini intenziteta zvuka od 0 dB). Međutim u području najveće osjetljivosti između 1000 i 5000 Hz neke osobe mogu čuti zvučni tlak i manji od referentnoga.



Slika 47. Dijagram slušnog praga dobiven pomoću AUDIO-TEST-a (Hedevert, 2007)

7.1.2. PRAG BOLI

Ako se intenzitet zvuka povećava ispitanik doživljava zvuk kao glasniji. Međutim kod određene granice slušni osjet prelazi u ne-slušni - taktilni osjet. Karakteristike ovoga osjeta ovise o frekvenciji i intenzitetu. Na niskim frekvencijama to se osjeća se lagana vibracija koja u nekim slučajevima može preći u laganu vrtoglavica zbog pobude polukružnih kanala. Na visokim frekvencijama osjeća se najprije škakljanje, svrbež u srednjem uhu a potom jak bol. Prag boli iznosi oko 120 do 130 fona razine glasnoće i predstavlja gornju granicu dinamike slušanja.

7.2. ISPITIVANJE SLUHA

7.2.1. SLUŠNI PRAG I AUDIOMETRIJA

Audiološko ispitivanje sluha može se vršiti na više načina kao npr. tonalnom ili govornom audiometrijom, evociranim potencijalima i sl. **Liminarna tonalna audiometrija** ispituje donji ili najniži prag čujnosti uha a provodi se najčešće na sljedećim frekvencijama: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 1,5 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, 6 kHz i 8 kHz (ponekad se ne ispituju frekvencije 1,5 kHz, 3 kHz, i 6 kHz). Postupak audiometrije provodi se tako da se u vrlo tihoj kabini preko slušalica (najčešće) reproduciraju tonovi navedenih frekvencija i to tako da se ton reproducira od najtišeg prema glasnijem. U trenutku kada ispitanik zamijeti zvuk, bilježi se taj intenzitet zvuka u decibelima kao prag čujnosti ili **slušni prag** za tu frekvenciju. Rezultati se bilježe u poseban dijagram koji se naziva **audiogram**. Isti se postupak provodi odvojeno za svako uho. Kada se tonovi reproduciraju preko slušalica u zvukovod uha ispituje se tzv. **zračna vodljivost**. Osim zračne ispituje se i **koštana vodljivost** tako da se preko posebnog vibratora koji je priljubljen uz mastoidnu kost iza uha ponovo reproduciraju zadane frekvencije. Ovi se podražaji prenose kao vibracije putem kostiju glave da srednjeg i unutrašnjeg uha te tako izazivaju osjet zvuka. Usporedba rezultata zračne i koštane vodljivosti omogućava precizno postavljanje dijagnoze o lokalizaciji i vrsti oštećenja.

7.2.1.1. POSTUPAK TRAŽENJA SLUŠANOG PRAGA

Općenito u psihofizici se poštuje pravilo da se pragom nekog osjeta smatra ona veličina stimulusa koja u 50 % prezentacija izaziva osjet. Isto tako i kod ispitivanja slušnog praga odgovori ispitanika mogu varirati pa ukoliko provedemo veći broj uzastopnih ponavljanja, uzima se srednja vrijednost kao konačni rezultat.

U klasičnoj tonalnoj audiometriji ispitanik najčešće daje znak da li čuje ili ne čuje signal (npr. dizanjem ruke ili pritiskom na dugme koje ispitivaču signalizira odgovor (npr. svjetlosnom indikacijom). Obično se prvo daje zvuk koji je najtiši a koji se zatim postupno pojačava do granice kada ispitanik signalizira da čuje. Nakon toga signal intenzitet signala se smanjuje sve dok ispitanik

više ne čuje ton te ponovo povećava (dvostruka kontrola).

Osim načina s postupnim povećanjem intenziteta ispitivanje se može raditi i na suprotan način tako da se započinje s dovoljno glasnim tonom kojega ispitanik čuje a zatim se ton stišava do donje granice čujnosti. Dakle, jedan način ispitivanja koristi se povećavanjem intenziteta stimulusa iz nečujnog područja a drugi stišavanjem intenziteta iz čujnog područja. Ispitivanja su pokazala da je prag dobiven postupkom smanjenja intenziteta niži ako se ispituje s isprekidanim tonom a ako se ispituje kontinuiranim tonom prag je viši. Stoga se za kontinuirane tonove uglavnom koristi način povećavanjem intenziteta stimulusa iz nečujnog područja ka čujnom (glasnijem).

Iako se u audiometriji uglavnom koriste kontinuirani signali, pokazalo se da je veća osjetljivost na promjenljive signale nego na kontinuirane. Ta osjetljivost veća je na višim frekvencijama. Tako npr. isprekidani ton od 4000 Hz ima oko 15 dB niži prag nego kontinuirani.

7.2.2. AUDIO - TEST

AUDIO-TEST ispituje sluh u cijelom čujnom području i daje više podataka od uobičajene tonalne audiometrije. Tonalna audiometrija ispituje sluh na najviše 10 izoliranih, diskontinuiranih frekvencija dok AUDIO-TEST to radi na 31 frekvenciji. Dok tonalna audiometrija ispituje samo izolirane frekvencijske visine između 125 Hz i 8 kHz, AT zahvaljujući posebno moduliranim tonovima ispituje kontinuirano frekvencijsko područje od 18 Hz do 22.400 Hz. Kontinuirane promjene frekvencija dobivene su tako da je svaka od trideset i jedne definirane frekvencije posebno modulirana na način da se oko definirane centralne frekvencije kontinuirano varira visina tona u ukupnom rasponu od jedne trećine oktave (jedna terca). Time se postiže pokrivenost svih frekvencija u cijelom čujnom području. ***AT koristi 31 trećinsko - oktavni pojas prema međunarodnim standardima ISO R 266 i ANSI S1.6-1984.*** Promjena frekvencija unutar određenog pojasa dodatno je modulirana tako da se jedan puni pomak centralne frekvencije (od najniže do najviše frekvencije) za svaki pojas odvija u vremenskom trajanju od 200 ms. Kako je ukupno trajanje jednog izoliranog tonskog podražaja točno 1 sekunda, to znači da se u tom tonu nalazi ukupno 5 uzastopnih promjena frekvencije. Ovom vrstom modulacija (promjenom centralne frekvencije i uzastopnim peterostrukim ponavljanjem moduliranog signala) postiže se bolja sposobnost zamjećivanja tona (bolje čujemo tonove koji su isprekidani i/ili frekvencijski varirani od kontinuiranih tonova iste visine).

Svaki zadani ton uzastopno se ponavlja na način da ton određenog intenziteta traje točno jednu sekundu, zatim slijedi jedna sekunda pauze, pa ponovno ponavljane tona ali za 5 dB jačim intenzitetom od prethodnog. Svaki ton se prezentira na 17 različitih intenziteta u koracima od 5 dB. Time je postignut ukupan raspon od 0 do 80 dB što znači da je pomoću AUDIO-TESTA moguće

otkriti i ispitati oštećenja sluha do 80 dB (ovdje počinje gluhoća). Zato je AT pogodan za svakodnevnu i široku primjenu dok se kod težih oštećenja sluha i gluhoće svakako treba provesti audiološko ispitivanje.

7.2.2.1. NORME AUDIO-TEST-A

AUDIO-TEST je ispitan na uzorku od 22 studentice druge godine logopedije (prosječna dob 20 godina). Testiranje je provedeno u akustički posebno izoliranoj prostoriji sa zvukom u slobodnom zvučnom polju. Treba napomenuti da je na frekvenciji od 16 kHz bilo većih razlika među ispitanicima (veća standardna devijacija) dok na frekvenciji od 20 kHz 4 ispitanice nisu bile u stanju čuti zvuk. S obzirom da se radi o vrlo visokim frekvencijama normalno je da su veće individualne razlike a osim toga na tim frekvencijama nema gotovo nikakvih korisnih zvukova za govornu komunikaciju. U tablici su dobivene norme slušnog praga (stupac sa slušnim pragom) za zdrave mlade osobe prosječne dobi od 20 godina. Iz tablice se vidi da je sluh najosjetljiviji na frekvenciji 4.000 Hz (prag je iznosio 3,5 dB). U idealnim uvjetima ispitivanja (npr. u audiometrijskoj kabini) vjerojatno bi se prag sluha snizio na 0 dB što bi bila idealna vrijednost. Stoga se ove norme mogu smatrati vrlo pouzdanima u uvjetima ispitivanja sluha koji nisu klinički idealni a u slučaju da se AUDIO-TEST primjeni u audiometrijskoj kabini norme bi bile niže za otprilike 5 dB.

Tablica 7. Norme AUDIO-TESTA

frekvencija Hz	prag sluha dB	Minimum dB	Maximum dB	Std.Dev.
20	74.1	70.0	79.0	1.7
25	61.8	56.0	72.0	4.0
32	56.8	50.0	72.0	4.7
40	51.6	43.0	70.0	5.7
50	46.0	38.0	60.0	4.6
63	44.5	36.0	58.0	4.7
80	43.0	35.0	56.0	4.6
100	41.2	33.0	55.0	5.2
125	33.4	24.0	50.0	5.8
160	31.5	24.0	47.0	5.2
200	29.6	23.0	39.0	4.0
250	27.7	20.0	33.0	3.4
315	26.0	18.0	30.0	3.3
400	23.8	16.0	28.0	2.7
500	21.2	14.0	25.0	2.8
630	19.3	13.0	25.0	2.6
800	17.5	10.0	25.0	3.2
1.000	12.9	7.0	17.0	2.6
1.250	10.9	7.0	14.0	1.7
1.600	8.6	5.0	12.0	1.8
2.000	6.2	2.0	13.0	3.2

2.500	5.5	1.0	11.0	3.2
3.150	5.5	1.0	10.0	3.4
4.000	3.5	1.0	10.0	2.9
5.000	7.4	2.0	18.0	3.6
6.300	4.7	1.0	12.0	3.1
8.000	9.1	1.0	20.0	4.1
10.000	14.5	9.0	40.0	6.5
12.500	17.6	8.0	40.0	6.1
16.000	32.5	19.0	60.0	12.1
20.000	73.4	67.0	80.0	3.8

7.3. OŠTEĆENJA SLUHA

7.3.1. STUPNJEVI OŠTEĆENJA SLUHA

Uobičajena je podjela oštećenja sluha prema stupnju gubitka sluha:

- normalan sluh: 0 - 19 dB
- blago oštećenje: 20 - 39 dB
- umjereno: 40 - 59 dB
- teško: 60 - 89 dB
- gluhoća: 90 i više dB.

Gubitak sluha određuje se tako da se na zdravijem (boljem) uhu u području govornih frekvencija od 500 do 4000 Hz izračuna prosječni gubitak sluha u decibelima. Prosječni gubitak izračunava se tako da se uzmu dobivene vrijednosti iz audiograma na frekvencijama od: 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz i 4000 Hz te se izračuna njihov prosjek.

Primjer izračunavanja gubitka sluha:

Ako smo prilikom ispitivanja sluha dobili bolje odgovore na lijevom uhu (to znači da je na lijevom uhu bio potreban manji intenzitet zvuka da bismo ga čuli) očitati ćemo za to uho zabilježene najniže decibelske vrijednosti na kojima smo zvuk osjetili kao npr.:

500 Hz: 65 dB

1000 Hz: 60 dB

2000 Hz: 40 dB

4000 Hz: 55 dB

zatim izračunamo srednju vrijednost: $\frac{65 + 60 + 40 + 55}{4} = 55$ dB.

Rezultat: prosječni gubitak sluha iznosi 55 dB što bi značilo da se radi o umjerenom oštećenju sluha.

Stupnjevi oštećenja

Glukoća:	gubitak sluha je veći od 81 dB
Teže oštećenje sluha:	gubitak sluha od 61 do 80 dB
Umjereno oštećenje sluha:	gubitak sluha od 41 do 60 dB
Lakše oštećenje sluha:	gubitak sluha od 21 do 40 dB
Normalan sluh:	gubitak sluha od 0 do 20 dB

7.3.2. SIMPTOMI OŠTEĆENJA SLUHA KOD ODRASLIH

Ovdje su nabrojene neke situacije koje mogu ukazivati na poteškoće sluha kod odraslih osoba:

- ne čujemo dovoljno glasno razgovor preko telefona,
- loše čujemo sugovornika u bučnoj okolini (npr. u kafiću),
- teško pratimo razgovor u kojem sudjeluje troje ili više osoba,
- pratimo razgovor s velikim naporom,
- čini nam se da većina ljudi mrmlja i govori nerazgovjetno,
- često tražimo od sugovornika da nam ponovi rečenicu,
- teže razumijemo govor djece ili žena,
- pojačavamo glasnoću televizora više od ostalih ukućana,
- često "čujemo" zvonjenje, zujanje ili šum u ušima,
- neki nam se zvukovi čine preglasnim.

7.3.3. SIMPTOMI OŠTEĆENJA SLUHA KOD DJECE (ŠKOLSKI UZRAST)

Djeca koja imaju lakši ili umjereni gubitak sluha uglavnom toga nisu niti svjesna. Kako oštećenje sluha uglavnom nastaje u vrlo ranoj dobi ili je dijete rođeno s oštećenjem, ono neće biti svjesno da nešto nije u redu sa sluhom. Stoga je važno da roditelji ili njegova okolina što ranije uoče problem kako bi se pomoglo djetetu. Ima slučajeva kada dijete krene u školu i tek tada učitelj primijeti da dijete "ne sluša" na nastavi, "ne razumije", zapisivanje u teke je loše i nepotpuno a ocjene loše jer dijete "ne zna gradivo". Takav učenik može biti nepravedno stigmatiziran u školi od strane drugih učenika (pa i nastavnika) kao "lijen", "glup" i sl. Iskusan učitelj (ili školski logoped) uočiti će niže navedene simptome koji mogu ukazivati da je posljedica lošeg uspjeha u školi upravo gubitak sluha. Ovdje su navedene neke tipične karakteristike djeteta koje ima oštećen sluh:

- dijete često sjedne vrlo blizu televizora ili radija ako gleda/sluša program,
- dijete reagira samo kada mu se obraćamo iz velike blizine (licem u lice),
- dijete više reagira na naše geste nego na govor,
- učestalo nas traži da mu ponovimo što smo rekli,
- dijete govori preglasno,
- dijete govori u visokom registru (glas je pomalo "kreštav" i "piskutav"),
- dijete slabo i sporo usvaja nove riječi,
- siromašan rječnik i oskudno jezično izražavanje,
- prati s naporom govor drugih osoba,

- preferira više jedno uho kod slušanja (okreće glavu i to uho usmjerava prema govorniku),
- često pogrešno interpretira što smo mu rekli,
- dijete izbjegava velike grupe osoba gdje slušanje može biti otežano ili frustrirajuće.

7.3.4. SIMPTOMI OŠTEĆENJA SLUHA KOD DJECE (PRVA GODINA ŽIVOTA)

Poteškoće slušanja često ostaju neprepoznatljive sve do starosti djeteta od 12 do 18 mjeseci kada se očekuje da bi dijete trebalo započeti s usvajanjem i uporabom prvih riječi. Znakove oštećenja sluha teško je primijetiti kod malog djeteta i to će uočiti samo stručnjaci ili roditelji koji o tome imaju određena znanja. Da bi se što ranije otkrile eventualne poteškoće sluha, u Hrvatskoj se već unazad nekoliko godina u većini rodilišta provodi trijažno ispitivanje sluha. Time se omogućava pravovremena intervencija i praćenje takve rizične djece. Dijete koje ne čuje, u komunikaciji s okolinom koristiti će više geste i dodir te će pokazivati predmete koje želi (npr. bočicu, igračku i sl.). Niže su navedena pitanja koja se odnose na određenu dob tijekom prve godine života. Ako biste na sva pitanja odgovorili s "DA", onda vaše dijete vjerojatno ima uredan sluh ali ako biste na neko od pitanja odgovorili s "NE" to bi mogao biti znak da su moguće poteškoće sa sluhom.

7.3.4.1. Od rođenja do kraja 4. mjeseca starosti

Da li se vaše dijete trgne na iznenađan glasan zvuk, poput praska, glasne vike, lajanja psa ili pljeska rukama?	DA	NE
Kada dijete spava u tihoj sobi, da li će se pomaknuti i probuditi na zvuk vašeg govora ili buke u blizini?		
Kada je dijete plačljivo ili cendravo, da li će se barem na kratko umiriti kada mu govorite (ali izvan njegovog vidokruga) ili ako započne svirati glazba ili se pojavi iznenađna glasna buka?		
Da li dijete u dobi od 3 ili 4 mjeseca povremeno pomakne glavu ili skrene pogled u smjeru zvuka iz okoline (npr. zvuk iz zvučne igračke)?		
Da li uočavate da dijete prepoznaje govor majke u odnosu na druge govore drugih osoba?		

7.3.4.2. Od početka 5. do kraja 8. mjeseca starosti

da li dijete okreće glavu i oči u smjeru zvuka koji dolazi izvan djetetova vidokruga?	DA	NE
Da li će se u tihom okruženju promijeniti ponašanje djeteta ili raširiti oči na glasan govor ili buku?		
Da li se dijete voli igrati sa zvečkom ili drugim igračkama koje uz potresanje, pomicanje ili stiskanje proizvode zvukove?		
Da li dijete u dobi od 6 mjeseci pokušava glasanjem ili brbljanjem "odgovarati" osobama koje u njegovoj blizini govore ili proizvode buku?		
Da li dijete s 6 mjeseci u svojoj vokalizaciji koristi barem 4 različita zvuka?		

7.3.4.3. Od početka 8. mjeseca do navršene prve godine

Da li se dijete okreće direktno i brzo prema izvoru nekog zvuka normalne glasnoće, ili ako ga nazovemo po imenu ali pod uvjetom da mu ti zvukovi nisu u njegovom vidnom polju?	DA	NE
--	----	----

Da li se mijenja visina glasa dijete dok brblja?		
Da li dijete u brbljanju koristi više različitih konsonanata kao npr. m, p, b, g?		
Da li dijete voli slušati glazbu (pjesmice ili brojalice), reagira na njih slušanjem, pokretima tijela, npr. pljeskanjem ruku, ili i samo počinje "pjevati"?		
Da li dijete razumije zapovijed "NE"?		

7.4. NEKI OD MOGUĆIH UZROKA OŠTEĆENJA SLUHA U ODRASLOJ DOBI

Kao i svaki drugi dio ljudskoga tijela tako i uho zahtijeva određenu pažnju i brigu kako bi imali zdravi i dobar sluh. Oštećenje sluha može biti posljedica različitih bolesti kao npr. upale uha i sl. U takvim slučajevima uvijek se treba obratiti liječniku kako bi utvrdio pravi uzrok bolesti te odredio odgovarajuće liječenje.

Međutim, u današnje vrijeme oštećenje sluha nastaje sve češće kao posljedica izloženosti prevelikoj buci. U mnogim slučajevima čovjek je izložen buci na svome radnom mjestu a ukoliko je izloženost buci svakodnevna i traje po nekoliko sati može doći do trajnog oštećenja sluha koje više ne mogu popraviti nikakvi lijekovi. Osobito je opasan rad u bučnim tvornicama sa strojevima koji stalno rade kao npr. u tekstilnoj industriji, metalurgiji, različiti proizvodni pogoni s procesom proizvodnje na "tekućoj traci", rad s bučnim alatima i strojevima kao npr. pneumatski čekić za razbijanje betona i kamena, rad s motornom pilom i sl. U svim tim slučajevima treba se zaštititi nošenjem "slušalica" (antifona) protiv buke i/ili stavljanjem zaštitnih čepića u uši. Pored ovih situacije koje su za neke ljude neizbježne jer se mora raditi, postoje i svakodnevne štetne navike koje također mogu jednako opasno djelovati na sluh. Evo takvih situacija koje bi trebalo izbjegavati ili barem reducirati:

- često posjećivanje bučnih barova i klubova s bučnom glazbom,
- česti odlasci na bučne rock i pop koncerte,
- preglasno i često slušanje walkmana,
- dugotrajne vožnje motorom (osobito za cross), čamcem s izvan-brodskim motorom, skuterom za vodu, snow-mobilom i sl.,
- česti rad s bučnim alatima (npr. za obradu drveta, metala i kamena),
- češća izloženost ugljičnom monoksidu (npr. u podzemnim garažama i automehaničarski radionicama),
- prečesto i dugotrajno uzimanje nekih antibiotika kao i uživanje duhana i alkohola.

7.5. FAKTORI KOJI SU ŠTETNI ZA SLUH

Većina teških oštećenja sluha nastaje već prije ili tijekom rođenja. Na takva oštećenja nije na žalost moguće utjecati i popraviti stanje. Stoga se kod većine takve djece utvrđuje stupanj i vrsta oštećenja te se na temelju toga dodjeljuje slušni aparat a u novije vrijeme operativno se ugrađuje umjetna pužnica (kohlearni implant). Znatno veći postotak oštećenja javlja se tijekom života. Najčešće ta oštećenja nisu toliko teška kao urođena ali tim osobama mogu stvarati velike probleme

u svakodnevnom životu. Upravo u takvim slučajevima može pomoći AT kako bi se pravovremeno otkrilo i spriječilo trajno oštećenje. Niže su navedeni neki od mogućih faktora koji mogu izazvati oštećenje sluha. Štetni zvukovi (izmjerena glasnoća na 1 metar udaljenosti od izvora zvuka):

- rock koncerti (u prosjeku oko 100 dB, pikovi do 130 dB),
- disko klubovi (100 dB),
- pucanj iz lovačke puške (115 dB),
- podzemna željeznica (90 dB),
- sirena hitne pomoći i policije (115 dB),
- pneumatski čekić (115 dB),
- električni cirkular (100 dB),
- motorna pila (105 dB).

Lijekovi koji mogu izazvati oštećenja sluha (navedeni su samo neki za primjer):

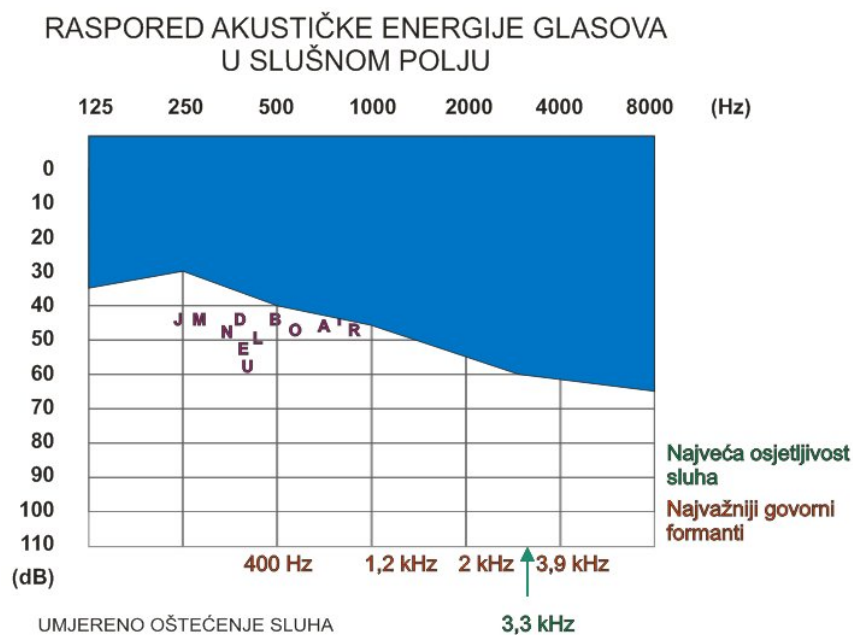
- antibiotici (kao npr.: Streptomycin, Neomycin, Erythromycin, Chloramphenicol i sl.),
- diuretici (Furosemide),
- analgetici i antipiretici (Salicil),

Štetni kemijski spojevi:

- ugljični monoksid, arsen,
- nikotin, alkohol.

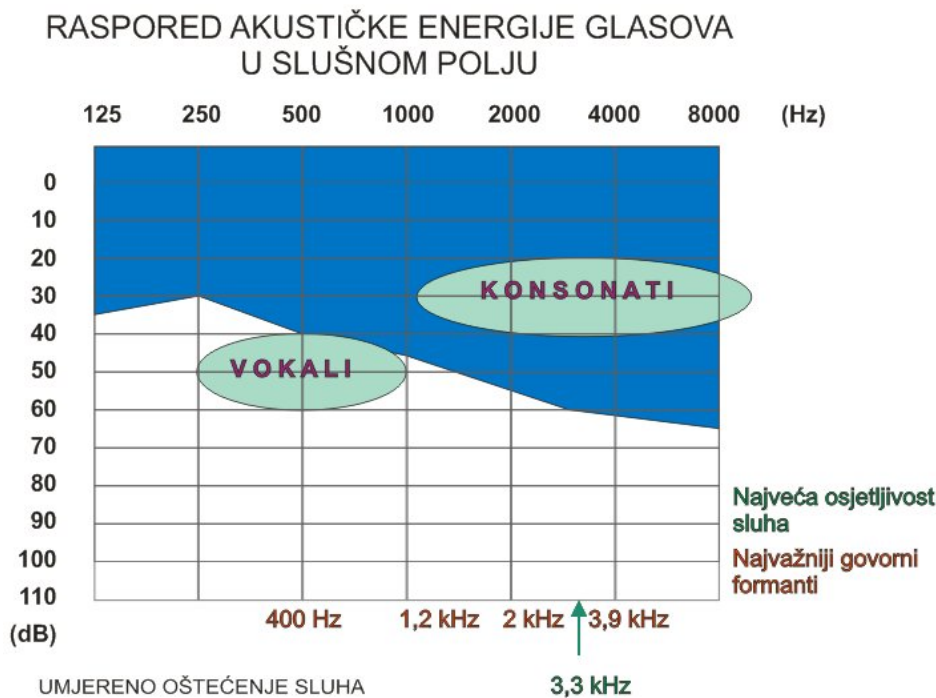
7.6. OŠTEĆENJE SLUHA I PERCEPCIJA GOVORA

Velike poteškoće u percepciji govora imaju osobe s oštećenjem sluha jer se gubitak sluha javlja upravo u govornom frekvencijskom području. Pogledamo li kako umjereni gubitak sluha utječe na percepciju glasova (slika ispod) vidimo da gotovo svi konsonanti ostaju u području koje je izvan mogućnosti slušanja bez dodatnih pomagala (plava ploha). Tim osobama jedino vokali i sonanti ostaju zamjetljivi.



Slika 48. Mogućnost percepcije glasova kod umjerenog oštećenja sluha

Već kod umjerenog gubitka sluha u rasponu od 40 do 59 dB vidljivo je da konsonanti ostaju izvan dosega slušne percepcije a preostaju samo vokali i njima slični glasovi (slika br. 36). Stoga se već i kod umjerenih gubitaka sluha javljaju poteškoće u percepciji i izgovoru konsonanata.



Slika 49. Ne/mogućnost percepcije vokala i konsonanta kod umjerenog oštećenja sluha

7.7. KOMUNIKACIJSKA POMAGALA ZA OSOBE OŠTEĆENA SLUHA

Prema "Pravilniku o osiguranju pristupačnosti građevina osobama s invaliditetom i smanjene pokretljivosti" (Narodne novine br.: 151 od 23.12.2005.) u javnim prostorima i ustanovama osim nesmetanog pristupa građevinama, određene su i norme kojima je potrebno omogućiti komunikaciju osobama s oštećenjem sluha. To se postiže postavljanjem komunikacijskih pomagala odnosno induktivnih petlji (pod komunikacijskim pomagalom podrazumijeva se induktivna petlja koja se još naziva i transmisijski obruč). Induktivna petlja ugrađuje se u sljedeće građevine: u poslovnice FINA-e, banke, pošte; ambulante, bolnice, lječilišta, ustanove za rehabilitaciju, domove za starije osobe, muzeje, kazališne i koncertne dvorane, putničke zgrade na autobusnim, željezničkim postajama, zračnim lukama, brodskim pristaništima, trgovačkim, ugostiteljskim i/ili turističkim objektima, crkvama i sl.

Glavna je svrha ovakvih komunikacijskih pomagala da se osobama s oštećenjem sluha omogući primanje zvučnog signala bežičnim putem direktno u slušno pomagalo (bilo da se radi o klasičnim slušnim aparatima ili novijim uređajima poput kohlearnog implanta).

Zašto se koriste bežični sustavi za prijenos i primanje zvuka iako svaki slušni aparat već ima

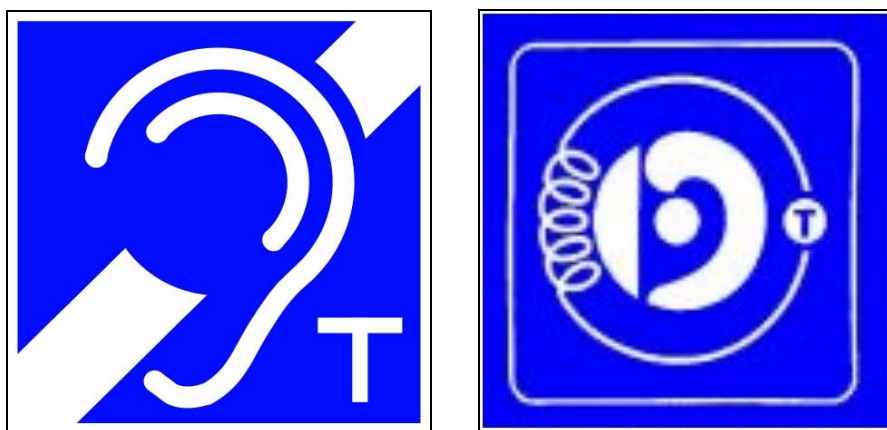
ugrađen mikrofon? Osnovni je razlog što u većini prostorija postoji znatna ambijentalna buka, žamor i reverberacija koje maskiraju koristan zvuk pa je nagluhoj osobi u takvim uvjetima često nemoguće razumjeti govor. Stoga se koristan zvuk (npr. različite govorne informacije) nastoje prenijeti u slušni aparat korisnika direktno s usta govornika, bez okolinske buke.

Tri različite tehnologije za bežični prijenos zvuka

1. Audio-frekvencijski sustav induktivne petlje (AFILS – Audio Frequency Induction Loop System)
9. Infracrveni sustav – IC (IR – Infra Red System)
10. Frekvencijsko-modulacijski sustav (FM System).

7.7.1. INDUKTIVNA PETLJA

Ovaj je sustav najstariji (primjenjuje se već oko 60 godina) i ujedno je i najčešće upotrebljavan sustav. Posljednji desetak godina povećava se tendencija primjene ovoga sustava. Sustav se često skraćeno naziva "Telecoil" i međunarodno je prihvaćena oznaka slovom "T". Sve je počelo s prvim slušnim aparatima i starijim modelima telefona koji kao slušalicu koriste elektro-dinamički zvučnik (magnet – zavojnica) dok su istovremeno stariji slušni aparati koristili dinamički mikrofon koji ima suprotan princip rada od elektromagnetskog zvučnika. Tada se događalo da ukoliko osoba sa slušnim aparatom prisloni slušalicu telefona na uho (odnosno na slušni aparat), zvuk u slušnom aparatu bi postao jači i jasniji. To se događalo zbog pojave indukcije: u zavojnici mikrofona slušnog aparata direktno se inducirala struja koja je nastala u elektromagnetskom polju zvučnika iz telefonske slušalice (tako je nastao termin TELE-COIL: Te – telefon, Coil – zavojnica).

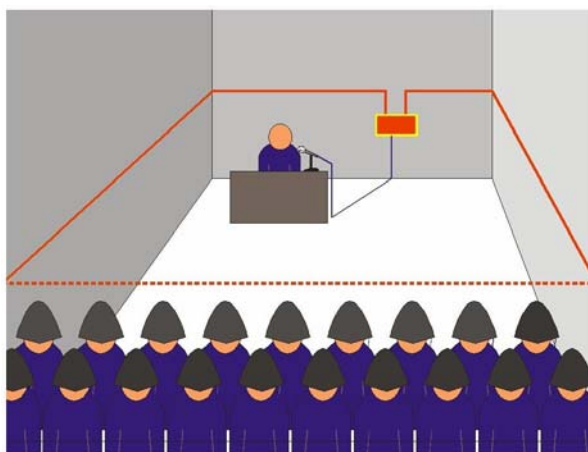


Slika 50. Oznake induktivne petlje

Na slici je prikazana međunarodna oznaka kojom se obilježava mjesto na kojem je instalirana induktivna petlja (uho i slovo T). Prema Pravilniku mjesto se obilježava i drugim znakom (simbol zavojnice, uha i slovo T).

Princip rada

Zvuk govornika prima se pomoću mikrofona, pretvara se u električni signal i pojačava u posebnom pojačalu. Električni signal iz pojačala koji je istovjetan govornom zvuku, prolazi kroz induktivnu petlju (poseban električni vodič koji opasuje određeni prostor (npr. prostoriju, dvoranu ili samo određeno područje)). Oko vodiča nastaje promjenjivo magnetsko koje je istovjetno promjenama zvuka a unutar perimetra induktivne petlje elektromagnetski signal moguće primiti s većinom slušnih aparata. U većini slušnih aparata već je ugrađena posebna mikro-zavojnica ("Telecoil") u kojoj će se inducirati struja (ako se osoba nalazi u magnetskom polju induktivne petlje). Inducirana struja ponovo se pretvara u zvuk koji osoba čuje u slušnom aparatu.



Slika 51. Shematski prikaz postavljanje induktivne petlje

Induktivne petlje prema važećim međunarodnim normama **BS EN 60118-4:2006, odnosno IEC 60118-4:2006 (revidirano 2006)** omogućavaju dobar prijem zvučnog signala unutar perimetra petlje neovisno o kretanju osobe sa slušnim aparatom. Induktivna petlja može se postaviti na različite načine i s različitim prostornim zahtjevima. Ponekad petlja može "pokrivati" cijeli prostor neke dvorane ili prostorije a ponekad (jeftinije) može se ograničiti samo na određeni dio (npr. samo nekoliko redova ili dio sjedala u auditoriju).

Prednosti

- Većina slušnih aparata i umjetnih pužnica (različitih proizvođača) ima na sebi mikro-sklopku koja se može postaviti u "T" položaj. Tada se na slušnom aparatu isključuje mikrofona a uključuje signal sa svitka. Spomenuti aparati imaju ugrađenu posebnu zavojnicu – svitak (oznaka "T" od eng. "telecoil") koja može primiti zvuk koji se u određeni prostor emitira pomoću induktivne petlje.
- Tehnologija induktivne petlje u cijelom je svijetu jedinstvena i kompatibilna. Svaki slušni aparat ili kohlearni implant može primiti signal bilo koje induktivne petlje ukoliko ima "T" sklopku odnosno ugrađenu zavojnicu. Stoga je induktivna petlja primjenjiva za sve javne prostore koje koristi veći broj osoba.
- Zvuk je dobre kvalitete pod uvjetom da je sustav induktivne petlje ispravno postavljen, dimenzioniran prema uvjetima dotičnog prostora i kalibriran.
- Cijeli je sklop vrlo pouzdan i dugotrajan (do 5 godina garancije).

Nedostaci

- Jaki izvori elektromagnetskog zračenja (npr. jaki transformatori, elektromotori ili veći električni uređaji) mogu stvarati smetnje u zvučnom signalu.
- Postavljanje induktivne petlje zahtijeva određene zahvate u prostoru (postavljanje elektro-vodiča na/u podu, zidovima ili stropu) pa se time povećava ukupna cijena instalacije.
- Prisutnost metalnih dijelova građevine zahtijeva dodatne proračuna i pojačanja signala induktivne petlje (npr. armirano-betonski zidovi i dominantno metalne konstrukcije).

7.7.2. INFRA CRVENI SUSTAV (IC)

Infracrveni sustav počeo se koristiti otprilike prije 30 godina ali se danas koristi vrlo malo jer ima puno nedostataka. Infracrveni sustav funkcionira tako da se audio signal pretvara u modulirane infracrvene zrake svjetlosti (oku su nevidljive). Infracrvene zrake se zatim emitiraju u prostor a slušni aparat mora imati poseban IC prijemnik koje prima te zrake i pretvara ih u električni signal analogan zvuku. Infracrvene zrake šire se identično kao i zrake svjetlosti. Između predajnika koji emitira i prijemnika koji prima infracrveni signal ne smije biti prepreka jer signal ne prolazi kroz prepreke (on će se eventualno reflektirati i doći do prijemnika ali oslabljen i distorziran). Na istom principu rade današnji daljinski upravljači za TV, audio i video tehniku (ako upravljač ne usmjerimo direktno prema TV prijemniku ili ako postoji neka prepreka, TV neće primiti naredbu sa daljinskog upravljača).

7.7.3. FM SUSTAV

FM Sustav radi na principu radio signala (poput radio i TV stanica). Audio signal se frekvencijski modulira ("FM") i emitira u prostor (frekvencije na kojima se signal emitira uglavnom su između 150 – 250 MHz). FM sustav zahtijeva poseban predajnik i poseban prijemnik.

Prednosti

- FM sustav ne zahtijeva posebnu instalaciju.
- Ima dobru kvalitetu zvuka.
- Jeftiniji je od sustava induktivne petlje.
- Fizičke barijere ili izvori elektromagnetskog signala ne ometaju FM signal.
- Vrlo je pogodan za kućnu uporabu (ali treba biti oprezan jer se signal može "uhvatiti" i u susjednom stanu).

Nedostaci

- Najveći i glavni problem je tehnička inkompatibilnost među proizvođačima i različitim modelima. U svijetu ima oko desetak poznatijih proizvođača slušnih pomagala i kohlearnih implanata. Međutim, svaki od njih ima i do deset različitih modela predajnika koji rade na različitim frekvencijama i isto toliko različitih prijemnika. Svaki je prijemnik dizajnerski prilagođen za određeni model i tip slušnog aparata tako da ih nije moguće kombinirati. Sumarno, možemo zaključiti da u svijetu postoji stotinjak ili više različitih FM modela koji nisu međusobno kompatibilni. Zbog nepostojanja jedinstvenog svjetskog standarda, korisnik FM sustava može koristiti vlastiti sustav samo za sebe osobno (npr. u svom domu) ali će mu sustav biti neupotrebljiv na drugim mjestima.

- Osim toga, FM sustav može biti "kontaminiran" bliskim frekvencijama nekog odašiljača ili sličnog uređaja u blizini. Uslijed toga može doći do "preslušavanja" i ometanja signala ali isto tako i do neželjenog emitiranja povjerljivih sadržaja izvan željenog prostora.

7.7.4. ZAKLJUČAK

Trend razvoja slušnih pomagala pokazuje sve širu uporabu induktivne petlje (TELECOIL) kao jedinog sustava koji je standardiziran, jedinstven i kompatibilan u cijelom svijetu. Svi vodeći svjetski proizvođači slušnih pomagala i kohlearnih implanata sve više ugrađuju Telecoil u svoje proizvode. To se odnosi i na nove generacije digitalnih pomagala. U nekim je europskim zemljama čak i propisano da se na njihovom teritoriju, od strane zdravstvenih ustanova, mogu propisivati i dodjeljivati samo slušna pomagala koja obvezno moraju imati ugrađenu opciju "T". U zapadnoj Europi većina zemalja uvodi (ili je uvela) sustave induktivne petlje u sve institucije i objekte od javnog interesa (obrazovne ustanove, sveučilišta, zdravstvene ustanove, muzeje, kazališta, koncertne dvorane, crkve, sredstva javnog prijevoza, banke, pošte i sl.).

Proizvođači također prihvaćaju i novo dodatno tehnološko unapređenje koji omogućava istovremeno slušanje preko telecoila i mikrofona (na slušnom aparatu postoji opcija "T+M" – teleciol + mikrofon). Ova je opcija važna za što bolje uključivanje osoba s oštećenjem sluha u grupne oblike rada (npr. kada dijete aktivno sudjeluje u grupnom radu, interaktivnim oblicima nastave ili sportskim aktivnostima u školi) kada se mora podjednako dobro čuti govor nastavnika ali i govor drugih sudionika). Ova je opcije manje važna u oblicima nastave "Ex katedra".

8. PSIHOAKUSTIKA

Psihoakustika je znanstvena disciplina koja se bavi proučavanjem percepcije i doživljaja zvuka te pokušava opisati i objasniti reakcija slušatelja na zvučne podražaje. Psihoakustika povezuje istraživanja o fizikalnim osobinama zvuka i psihološkim i fiziološkim aspektima njihove percepcije (kako slušatelj doživljava i percipira različite zvučne podražaje) te objašnjava odnos fizičkih i psihoakustičkih dimenzija zvuka kao što su: intenzitet i glasnoća, frekvencija i tonska visina, složenost zvuka i njegova boja (timbar) i sl.

Nadalje, psihoakustika opisuje karakteristike slušanja i slušnog polja: od praga sluha do praga boli, zavisnost osjeta glasnoće i frekvencijske visine zvuka, binauralno slušanje i lokalizaciju zvuka u prostoru. Opisuju se i različiti psihoakustički fenomeni kao što su: diferencijalni prag osjetljivosti na akustički podražaj, maskiranje, principi objedinjavanja percepcije zvučnih cjelina i sl.

S aspekta percepcije (psihološka svojstva svjesnog osjeta) svaki je zvučni podražaj određen s četiri obilježja koja se mogu kvantitativno povezati. Svaki osjet fizičkog podražaja ima četiri osnovna svojstva: modalitet (kvalitetu, vrsnoću), intenzitet (jačinu), trajanje i lokaciju izvora podražaja u prostoru. Ova četiri svojstva putem SŽS-a doživljavamo kao osjet (sensatio) a kad postanemo svjesni tog osjeta, onda kažemo da smo podražaj svjesno iskusili – opazili (percipirali): percepcija je svjesno iskustvo osjeta, opažaj.

U literaturi često nailazimo na sinonime poput riječi psihoakustika, fiziološka akustika, slušna i govorna akustika. Psihoakustika proučava kako ljudsko uho prima neki zvučni podražaj i kakav je subjektivni doživljaj proizašao kao rezultat tog podražaja. Za potrebe ovog rada psihoakustiku bismo mogli podijeliti na tri dijela.

Prvi dio bismo mogli nazvati opća psihoakustika ili fiziološka akustika, a odnosi se na proučavanje općih svojstava sluha kao što su : pragovi sluha, glasnoća, prag razlikovanja zvučnog intenziteta, osjećaj visine tona, prag razlikovanja frekvencija, masking efekt, vremenske konstante sluha itd. Spomenute pojave i svojstva neće biti detaljno prikazani jer prelaze okvire ovog rada, već će se o njima govoriti selektivno.

Drugi dio psihoakustike bavi se ispitivanjima sluha i slušanja vezanim uz područje govorne komunikacije. Rezultati ovakvih ispitivanja su korisni za radio i telefonski prijenos govora (telekomunikacije), kod ozvučavanja otvorenih i zatvorenih prostora, a naročito su korisni pri izradi slušnih pomagala za osobe oštećena sluha. Istraživanja na ovom području su pokazala da su oktave s centralnim frekvencijama od 500 Hz, 1 kHz i 2 kHz najznačajnije za dobro razumijevanje govora. Poznato je također da vokali u nižem frekvencijskom području daju potrebnu snagu (glasnoću), a

konsonanti, koji su u odnosu na vokale na višim frekvencijama, daju razumljivost govora. Prosječna snaga vokala u govoru iznosi oko 50 W (kod glasnog govora muškarca snaga može prekoračiti čak 2000 W), a snaga najtiših konsonanata iznosi svega 0,03 W. Dakle, iako je u prosjeku snaga vokala oko 1600 puta veća od snage konsonanata, ipak su konsonanti važniji za razumljivost govora. To potvrđuje da objektivne akustičke veličine nisu uvijek u korelaciji sa subjektivnim osjetom. S aspekta percepcije govora i njegove razumljivosti važna su tri ometajuća parametra. To su udaljenost između govornika (izvora zvuka) i slušaoca, nivo buke (ometajućeg šuma) i vrijeme reverberacije (odjeka).

8.1. PERCEPCIJA ZVUKA

S aspekta percepcije možemo govoriti o tri osnovne osobine nekog zvuka. To su glasnoća, visina i boja zvuka.

Za govornu komunikaciju osim karakteristika govornog zvuka i njegove proizvodnje jednako je značajno i kako percipiramo glas odnosno govor. Svoj vlastiti govor percipiramo putem sluha i propriocepcije, a govor druge osobe percipiramo slušno i vizualno (u neposrednom kontaktu). Auditivni kanal je osnovica za učenje govora (Vuletić, 1987) i govornu komunikaciju, ali je komunikacija moguća i bez vizualnog kanala, npr. telefonom. Poznato je da postoje razlike između objektivne akustičke slike glasovnog i govornog zvuka i njegove slušne percepcije. Objektivno možemo govoriti o frekvenciji i intenzitetu zvuka, dok subjektivno govorimo o visini zvuka i njegovoj glasnoći. Pri tome, korelacije između objektivnog i subjektivnog nisu jednoznačne. Tako npr. dva zvuka različitih frekvencija jednakog intenziteta uho može percipirati različitim glasnoćama zbog različite fiziološke osjetljivosti (izofonske krivulje).

8.1.1. PERCEPCIJA GLASNOĆE ZVUKA

Prema Weber - Fechnerovom zakonu subjektivni osjećaj glasnoće raste razmjerno s logaritmom fizikalnog podražaja. Zbog toga je decibelska skala primjerenija za izražavanje intenziteta jer je decibel (SPL dB) upravo logaritam omjera neke razine zvučnog tlaka u odnosu na referentni zvučni tlak ($20\mu\text{Pa}$). Međutim u percepciji glasnoće ovaj zakon je primjenjiv samo u jednom užem području. Zato se danas smatra točnijim Stevensov zakon eksponenta po kojem je nivo osjećaja (percepcije) razmjeran nekom eksponentu fizikalnog podražaja (vrijednosti eksponenta se razlikuju po vrstama osjeta (npr. toplina, hladnoća, glasnoća itd.).

Poznato nam je da ljudsko uho ne percipira sve frekvencije s jednakom osjetljivošću. Najveća osjetljivost nalazi se u području oko 3 kHz, a osjetljivost opada prema niskim i visokim frekvencijama što možemo vidjeti na slici s izofonskim krivuljama. Tako npr. za osjećaj jednake

glasnoće od 50 fona, uhu je na 1 kHz potreban podražaj od 50 dB, na 20 Hz podražaj mora imati oko 95 dB, a na 10 kHz oko 55 dB. Zbog toga je prihvaćena međunarodna konvencija po kojoj se subjektivni nivo jačine zvuka izražen u fonima, izjednačava na 1000 Hz s decibelima (objektivni nivo).

8.1.2. FON I SON

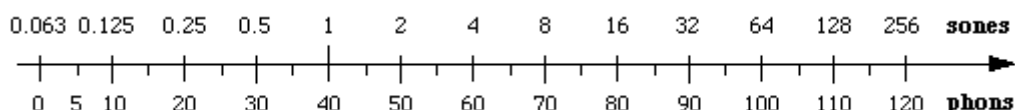
Fizikalni zvučni podražaj i subjektivni osjećaj glasnoće nisu linearno zavisni. Mnogobrojni eksperimenti pokazali su da ako zvuk glasnoće od 40 fona (što odgovara razini buke u tihoj radnoj prostoriji) povećamo za 10 fona (razina je 50 fona), subjektivno ga doživljavamo kao dvostruko glasniji. Stoga je uvedena još jedna jedinica - son kojom se izražavaju razlike u subjektivnom osjećaju glasnoće između dva zvuka. Utvrđeno je da iznad 40 fona porast intenziteta za svakih 10 fona udvostručava subjektivni osjećaj glasnoće. Vidljivo je da se osjet razlika u glasnoći više povećava na većim razinama. Tako npr. zvuk od 50 fona doživljavamo kao dvostruko glasniji od zvuka koji ima 40 fona. Međutim zvuk od 70 fona doživljavamo čak 8 puta glasnije od zvuka od 40 fona. Ovo je važno imati na umu kada se koristimo elektroakustičkim filtrima u korekciji govora.

Pojačanje ili gušenje za 30 dB povećava ili smanjuje osjećaj glasnoće za osam puta. Ako filtriramo neki zvuk u području od 1000 Hz (gdje su foni izjednačeni sa decibelima) s dinamikom filtarske krivulje od 10 dB, subjektivno ćemo to čuti kao dvostruko glasnije ili tiše od zvuka izvan pojasa djelovanja filtra. Korištenjem filtra s dinamikom od 30 dB, filtrirani zvuk čujemo čak 8 puta glasnije ili tiše.

Fizikalni zvučni podražaj i subjektivni osjećaj glasnoće nisu linearno zavisni. Mnogobrojni eksperimenti pokazali su da ako zvuk glasnoće od 40 fona (što odgovara razini buke u tihoj radnoj prostoriji) povećamo za 10 fona (razina je 50 fona), subjektivno ga doživljavamo kao dvostruko glasniji. Stoga je uvedena još jedna jedinica - **son** kojom se izražavaju razlike u subjektivnom osjećaju glasnoće između dva zvuka. Utvrđeno je da iznad 40 fona porast intenziteta za svakih 10 fona udvostručava subjektivni osjećaj glasnoće. Vidljivo je da se osjet razlika u glasnoći više povećava na većim razinama. Tako npr. zvuk od 50 fona doživljavamo kao dvostruko glasniji od zvuka koji ima 40 fona. Međutim zvuk od 70 fona doživljavamo čak 8 puta glasnije od zvuka od 40 fona. Ovo je važno imati na umu kada se koristimo elektroakustičkim filtrima u korekciji govora.

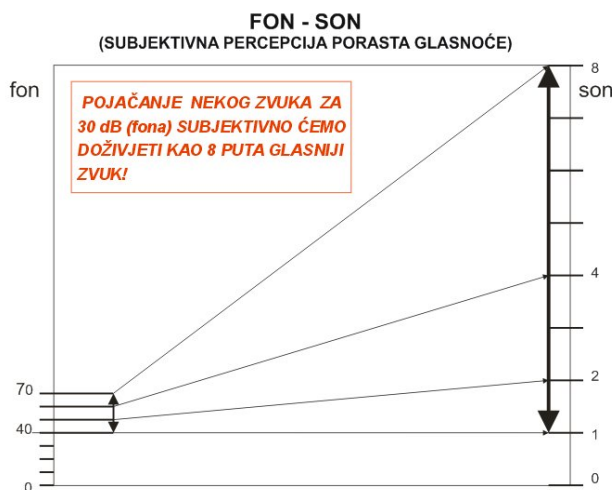
Tablica 8. Prikaz odnosa mjernih jedinica za subjektivni osjećaj glasnoće: fon i son.

fon	son
20	0,25
30	0,5
40	1
50	2
60	4
70	8
80	16
90	32



Slika 52. Odnos fona i sona prikazan pomoću skale

Pojačanje ili gušenje za 30 dB povećava ili smanjuje osjećaj glasnoće za osam puta. Ako filtriramo neki zvuk u području od 1000 Hz (gdje su foni izjednačeni sa decibelima) s dinamikom filtarske krivulje od 10 dB, subjektivno ćemo to čuti kao dvostruko glasnije ili tiše od zvuka izvan pojasa djelovanja filtra. Korištenjem filtra s dinamikom od 30 dB, filtrirani zvuk čujemo čak 8 puta glasnije ili tiše.



Slika 53: Grafički prikaz glasnoća izraženih u fonima i sonima

Pojačamo li na slušalicama glasnoću vlastitog govora za 2 dB iznad fiziološkog optimuma slušanja, rezultat će biti snižavanje razine govora za 1 dB. Svako daljnje povećanje glasnoće od po 2dB dovodi do stišavanja govora za 1dB. Zato u rehabilitaciji govora i slušanja treba pažljivo odrediti glasnoću kod korištenja elektroakustičkih pomagala jer možemo napraviti više štete nego koristi. Ukoliko intenzitet zvuka pređe 125 do 130 dB zvučni podražaj postaje bolan.

Ako slušatelja pretjerano zaglušimo maskingom ili nekim drugim zvukom na slušalicama, on će

pokušati govoriti glasnije kako bi "nadglasao" ometajući zvuk. Ova pojava "nadglasavanja" buke iz okoline naziva se "*Lombardov efekt*" i svakodnevno se susrećemo s ovom pojavom kada razgovaramo sa sugovornikom u bučnom kafiću, na prometnoj ulici ili u nekoj drugoj bučnoj okolini. Zato treba paziti na glasnoću jer nam najčešće nije cilj izazvati *masking efekt*.

8.1.3. PERCEPCIJA VISINE ZVUKA

Prema ovoj kategoriji sve zvukove u prirodi možemo subjektivno procijeniti kao niske (duboke) tonove, srednje ili visoke. Osjećaj visine ovisi o frekvenciji zvuka, frekvencijskom spektru složenog zvuka, odnosno o frekvenciji osnovnog tona kod složenog zvuka. Osim toga, subjektivni osjećaj visine tona ovisi i o intenzitetu. Ako dubokom tonu povećamo intenzitet, doživljavamo ga kao da je postao dublji, a ako smanjimo intenzitet osjećamo da je postao viši. Većina ljudi može odrediti relativnu visinu tonova (viši - niži) ako su emitirani jedan za drugim, dok samo nekolicina može odrediti "pravu visinu" tona (to su osobe s tzv. apsolutnim sluhom). Ljudsko uho registrira promjene visine tona logaritamski, pa ovdje Weber-Fechnerov zakon potpuno vrijedi (osjećaj visine tona raste s logaritamskim porastom frekvencije). Subjektivni osjećaj povećanja visine tona za isti interval imat ćemo ako smo frekvenciju tona povećali za isti postotak, a ne za jednaku apsolutnu vrijednost (npr. jednako ćemo doživjeti interval između 100 i 120 Hz kao i između 1000 i 1200 Hz). U oba slučaja postotak povišenja niže frekvencije na višu je isti - 20%, dok je u apsolutnim vrijednostima prvi interval iznosio samo 20 Hz, a drugi 200 Hz. Zato se frekvencijske skale najčešće prikazuju kao logaritamske što je najbližije načinu percipiranja visine zvuka. Da bismo dvije bliske frekvencije slušno razlikovali kao dvije različite tonske visine minimalna razlika među njima mora iznositi oko 2,5 %. Npr. razlikovat ćemo po visini frekvencije od 100 i 102,5 Hz ali ako je razlika manja doživjet ćemo ih kao isti ton. Na frekvenciji od 1000 Hz viša frekvencija mora biti oko 1025 Hz (2,5 % viša) da bi ih razlikovali.

Dakle za isti subjektivni osjećaj promjene visine tonova vrijedi isti odnos frekvencija, a jedinica za mjerenje razlike u visini tonova je tzv. muzički interval. Oktava (najpoznatiji muzički interval) je raspon između dvije frekvencije gdje je omjer niže i više frekvencije 1:2. Oktava se zasniva na percepciji jer kada se istovremeno proizvedu dva zvuka pravilnih periodičnih titraja (a nalaze se u omjeru 1:2), nastat će treći zvuk koji je također periodičan i harmoničan jer se svaki drugi harmonik nižeg tona poklapa s harmonicima višeg tona. Ove zvukove doživljavamo ugodno i harmonično.

harmonici:	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
		200		400		600		800		
oktave:	100	200		400				800		

U muzičkom smislu oktava (lat. octo - osam) predstavlja interval od osam međutonova unutar omjera 1 : 2, a gdje je osmi ton ujedno i prvi ton sljedeće oktave.

subkontra oktava	16 Hz
kontra oktava	32
velika oktava	64
mala oktava	128
prva oktava	256
druga	512
treća	1024
četvrta	2048
peta	4096
šesta	8192
sedma	16384 (nije čujna do kraja)

Tonovi unutar oktave izračunavaju se po posebnim obrascima a ne običnim dijeljenjem. Razlog je zato što ljudsko uho percipira promjene visine tona prema logaritamskoj skali frekvencija. Tako npr. jednoj trećini oktave odgovara omjer krajnjih frekvencija od: 1,26 a poluoctavni pojas odgovara omjeru od: 1,41. Isto tako, središnja frekvencija pojasa (bilo koje širine, a ne samo oktave) izračunava se po formuli:

$$f_s = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$$

8.1.4. PERCEPCIJA BOJE ZVUKA

Boju tona određuju viši harmonici, a visinu tona određuje osnovni harmonik. Po boji tona razlikujemo i prepoznavamo muzičke instrumente i pojedine osobe. Isticanje pojedinih harmonika u spektru ovisi volumenu i obliku rezonatora. Kod muzičkih zvukova isticanje neparnih viših harmonika stvara subjektivni osjećaj tankog, zatvorenog tona. Ako su naglašeni parni harmonici (naročiti 2., 4. i 8.), zvuk je svijetao i otvoren. Napomenimo još da se ispod osnovnog harmonika ne javljaju stabilne oscilacije koje bi pripadale harmoničnom dijelu spektra, ali se može javiti šum kao dio spektra. Važno je istaknuti da harmonike ne smijemo poistovjetiti sa formantima.

8.2. PERCEPCIJA GOVORA

8.2.1. SNAGA I DINAMIKA GOVORA

Samoglasnici nose veću zvučnu energiju od suglasnika, ali suglasnici daju razumljivost govoru. Zato uz prisutnost buke možemo čuti i prepoznati glas osobe (snažni samoglasnici), ali ne razumijemo što govori (jer su suglasnici pretihi). Zato slabljenje ili gubitak viših frekvencija govora dovodi do nerazumljivosti. Tako npr. ako eliminiramo sve frekvencije iznad 1550 Hz, razumljivost govora opada na samo 65%. Prosječan intenzitet govora (mjereno na udaljenosti od 1 m) iznosi 57 dB. Veća ili manja prisutnost pojedinih vrsta glasova u nekom jeziku utjecat će i na raspored snage u njegovom prosječnom spektru. Kao primjer možemo uzeti finski i mađarski jezik koji su bogati vokalima, i poljski i rusinski koji su bogati sibilantima.

Dinamika govora je odnos između najglasnijih i najtiših dijelova govora. Kod pojedinca dinamika obično ne prelazi 40 dB, a kod veće skupine ljudi dinamika može imati do 56 dB.

8.2.2. FREKVENCIJSKI OPSEG GOVORA

Frekvencijski opseg govora kreće se u rasponu od 80 Hz do 12 kHz. Međutim, najvažniji je frekvencijski pojas između 250 i 5000 Hz u kojem se dobiva 100%-tna razumljivost govora. U telefonskom prijenosu pojas je još uži (300 Hz do 3,5 ili 4 kHz) ali je razumljivost još uvijek zadovoljavajuća. U samoglasnicima i zvučnim konsonantima dominira osnovni laringalni glas i njegovi viši harmonici. Svi harmonici nisu jednakog intenziteta. Najveću količinu energije u govoru nose samoglasnici i zvučni konsonanti, dok najmanju energiju imaju bezvučni glasovi. Među bezvučnim glasovima energetski su jaki okluzivi, ali najveći dio njihove energije nalazi se u infrazvučnom području (to su uglavnom samo udaru zraka ili turbulencije zračne struje koje nemaju nikakvu ulogu u prepoznavanju tih glasova). Općenito, može se zaključiti da su vokali nosioci snage i energije u govornom signalu, dok su konsonanti znatno tiši, ali informativniji. Govorna je poruka dovoljno čujna zahvaljujući vokalima, a razumljiva zahvaljujući konsonantima. Govor bez suglasnika bio bi i dalje relativno glasan, ali nerazumljiv, dok bi govor bez samoglasnika postao znatno tiši, ali još uvijek jezično razumljiv.

8.2.3. PERCEPCIJA GLASOVA I NJIHOVE FREKVENCije

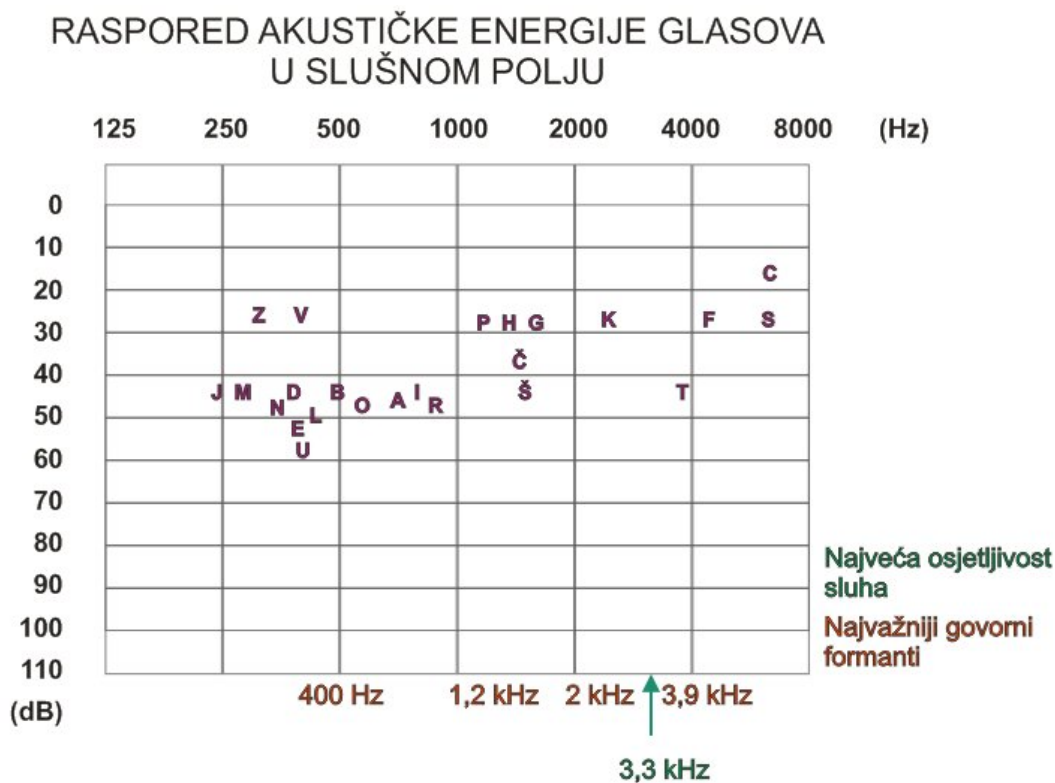
Na donjoj slici prikazana je lokacija glasova u normalnom govoru s obzirom na njihovu frekvenciju i intenzitet. Vokali su glasovi s najvećim intenzitetom (između 40 i 60 dB) a frekvencijski između 300 i 1000 Hz. U istom pojasu se nalaze i sonanti ali s nešto manjim intenzitetom te zvučne komponente zvučnih konsonanta. Bezvučni konsonanti uglavnom su

smješteni na višim frekvencijama (između 2 i 8 kHz) a njihova je energija za oko 30 dB slabija od vokala.

Srednje vrijednosti govornih formanta su:

- F1 = 400 Hz,
- F2 = 1,2 kHz,
- F3 = 2 kHz,
- F4 = 3,9 kHz.

Između F3 i F4 nalazi se područje najveće osjetljivosti sluha (oko 3,3 kHz).



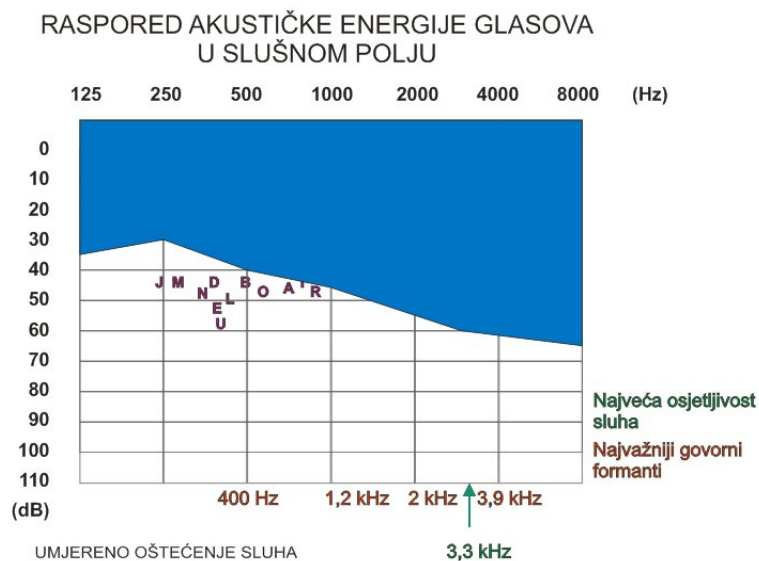
Slika 54. Raspored glasova u čujnom području

8.3. PERCEPCIJA GOVORA I OŠTEĆENJE SLUHA

Velike poteškoće u percepciji govora imaju osobe s oštećenjem sluha jer se gubitak sluha javlja upravo u govornom frekvencijskom području. Uobičajena je podjela oštećenja sluha je prema stupnju gubitka sluha:

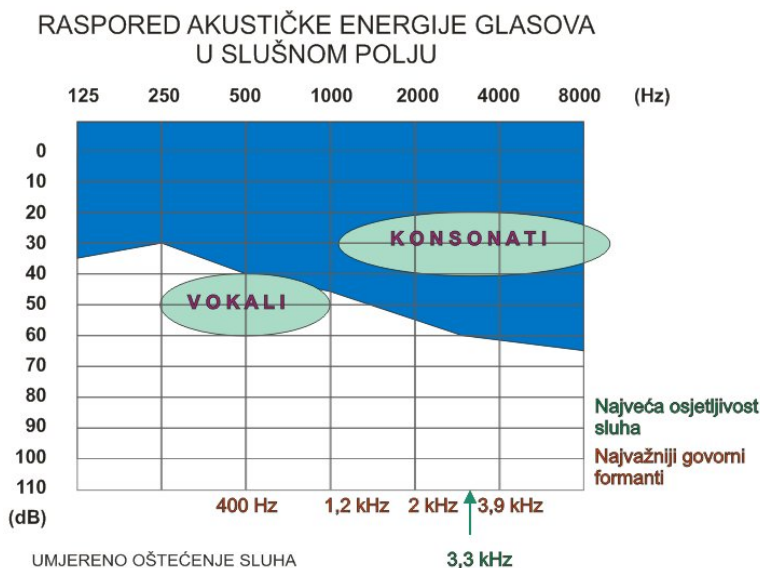
- normalan sluh: 0 - 19 dB
- blago oštećenje: 20 - 39 dB
- umjereno: 40 - 59 dB
- teško: 60 - 89 dB
- gluhoća: 90 i više dB.

Pogledamo li kako umjereni gubitak sluha utječe na percepciju glasova (slika ispod) vidimo da gotovo svi konsonanti ostaju u području koje je izvan mogućnosti slušanja bez dodatnih pomagala (plava ploha). Tim osobama jedino vokali i sonanti ostaju zamjetljivi.



Slika 55. Mogućnost percepcije glasova kod umjerenog oštećenja sluha

Već kod umjerenog gubitka sluha u rasponu od 40 do 59 dB vidljivo je da konsonanti ostaju izvan dosega slušne percepcije a preostaju samo vokali i njima slični glasovi (slika br. 7). Stoga se već i kod umjerenih gubitaka sluha javljaju poteškoće u percepciji i izgovoru konsonanata.



Slika 56. Raspored vokala i konsonanta te njihova percepcija kod umjerenog oštećenja sluha

8.4. VIZUALNA PERCEPCIJA GOVORA

Uz auditivnu percepciju u govornoj komunikaciji zapažamo i vizualno pokrete artikulatora sugovornika. To se odnosi na pokrete usana, donje vilice, bukalnu napetost i ekspresiju lica. Iako vizualna percepcija govora nije neophodna za komunikaciju kod osoba normalna sluha, ona ipak nadopunjava auditivnu percepciju, a naročito je značajna u uvjetima otežanog slušanja. Isto tako

treba napomenuti da se osobe oštećena sluha oslanjaju na vizualnu percepciju, a što je slušno oštećenje veće, to je vizualna percepcija više dominantna. Busby, Tong i Clark (1988) su proveli ispitivanje percepcije konsonanata kod djece s oštećenjem sluha i ustanovili da je vizualni kanal bio bolji od auditivnog, a najbolja percepcija je dobivena korištenjem oba kanala. U starijoj literaturi je dominantna upotreba vizualne percepcije nazivana "čitanje s usana" (engl. "lipreading"), a sada se više koristi termin "čitanje govora" ("speech reading"), jer vizualnu informaciju ne "očitalamo" samo s usana. Na području vizualne percepcije Calvert (1980) uvodi i novi pojam **vizem** (engl. viseme) koji se odnosi na pozicije vidljivog govora koje tvore prepoznatljive kategorije optičkih kontrasta vezanih uz pojedine foneme. Kao što glas predstavlja zvukovnu realizaciju fonema, tako vizem ("vizualni fonem") predstavlja njegovu optičku sliku. Međutim, do sada još nije utvrđen točan broj vizema unutar nekog jezika jer još nisu točno definirani kriteriji razlikovanja vizema (kao što su npr. inherentna distinktivna obilježja glasova). De Filippo (prema Calvert, 1980) je načinio klasifikaciju vizema američkog engleskog jezika. Ova klasifikacija sadrži sedam nivoa osjetljivosti razlikovanja vizema gdje se, kao i kod glasova razlikovanje zasniva na binarnim opozicijama. Prvi nivo je najgrublji (ima/nema signala), a svaki naredni nivo ima sve veću finoću razlikovanja. Grananjem binarnih opozicija autor je uspio izdvojiti 12 vizema iz 32 glasa. Tako npr. bilabijali **p**, **b** i **m** predstavljaju jedan vizem, labiodentali **f** i **v** također tvore jedan vizem, a jedino glasu **l** izolirano pripada samostalni vizem. Njemu vizualno slični glasovi **t**, **d** i **n** razlikuju se npr. na temelju jednog "binarnog distinktivnog obilježja", a to je uzak - širok (misli se vjerojatno na površinu dodira jezika i alveola/zuba). Glas **l** ima karakteristiku uskog dodira dok **t**, **d** i **n** imaju široku površinu dodira.

8.5. PROPRIOCEPCIJA

Pored auditivne i vizuelne percepcije, govornik dobiva i određene senzorne informacije o položaju i pokretima govornih organa. Propriocepcija obuhvaća taktilne i kinestetske osjete. Ovi osjeti dodira i pokreta imaju značajnu ulogu u kontroli govora putem povratne sprege, a u uvjetima kada auditivna kontrola nije moguća (npr. zbog buke ili gubitka sluha), propriocepcija postaje dominantan kanal za kontrolu govora.

8.6. PERCEPCIJA ZVUKA I STARENJE

Sa starenjem sluh prirodno slabi i to predstavlja normalan prirodan proces. Statistički podaci ukazuju da jedna trećina starijih osoba (65. - 74. godine starosti) i oko 50% ljudi starijih od 75

godina imaju poteškoće slušanja⁴ zbog gubitka sluha. Sluh je najosjetljiviji u dobi do 20. godine a nakon toga on polako slabi. Slabljenje je osobito izraženo na visokim frekvencijama te većina ljudi starijih od 60 godina više uopće ne čuje visoke frekvencije iznad 15.000 Hz. U donjoj tablici navedene su orijentacione vrijednosti slabljenja sluha u području govornih frekvencija s obzirom na dob. Stoga kod ispitivanja sluha treba uzeti u obzir i ove podatke jer je za starije osobe normalno da im je prag sluha viši.

starost	testirane frekvencije (kHz)					dB
	1	2	3	4	6	
do 20 god.	0	0	0	0	0	
25 godina	0	0	0	2	2	
30 godina	1	0	0	5	5	
35 godina	2	0	4	6	7	
40 godina	2	3	6	9	11	
45 godina	3	3	9	13	15	
50 godina	4	6	12	17	19	
55 godina	5	8	15	22	26	
60 godina	6	10	19	28	30	

Tablica 9. Povišenje slušnog praga kod starijih osoba u odnosu na normu (dB)

8.6.1. STAROSNA DOB I SLUH

Sa starenjem sluh prirodno slabi i to predstavlja normalan prirodan proces. Statistički podaci ukazuju da jedna trećina starijih osoba (65. - 74. godine starosti) i oko 50% ljudi starijih od 75 godina imaju poteškoće slušanja⁵ zbog gubitka sluha. Sluh je najosjetljiviji u dobi do 20. godine a nakon toga on polako slabi. Slabljenje je osobito izraženo na visokim frekvencijama te većina ljudi starijih od 60 godina više uopće ne čuje visoke frekvencije iznad 15.000 Hz. Međutim, sluh slabi i na nižim frekvencijama te kod ispitivanja sluha pomoću AUDIO-TESTA treba uvijek uzeti u obzir i dob osobe. U donjoj tablici navedene su orijentacione vrijednosti slabljenja sluha u području govornih frekvencija s obzirom na dob. Stoga kod konačne interpretacije audiograma treba uzeti u obzir i ove podatke jer je za starije osobe normalno da im je prag sluha viši.

8.7. INTELIGIBILITET – RAZUMLJIVOST GOVORA

U svim prostorima gdje se komunicira govorom potrebno je osigurati njegovu razumljivost - inteligibilitet. Razumljivost govora može se objektivno ispitati i provjeriti za svaki prostor (prostoriju) bilo da se radi o prirodnoj komunikaciji govorom (bez ozvučenja, pojačala i razglasa) ili

⁴ izvor podataka: ASHA (American Speech Hearing Association)

⁵ izvor podataka: ASHA (American Speech Hearing Association)

kada je instaliran sustav ozvučenja. Danas se još uvijek u većini školskih učionica ili predavaonica komunicira samo glasnoćom vlastitog govora, bez razglasa. Za sustave s razglasom, prema međunarodnim standardima koristi se kratica **PA (public address system)**. PA podrazumijeva uporabu ozvučenja koje se najčešće sastoji od mikrofona, miksera zvuka, pojačala i zvučnika. Ovakve sustave koriste svi javni prostori u kojima se nalazi veći broj ljudi na većem prostoru (npr. kina, koncertne dvorane, kazališta, sportske dvorane, stadioni, putničke čekaonice, kolodvori, aerodromi i sl.). Termin "PA" ne odnosi se na privremeno postavljene razglase (npr. na pozornicama za izvođenje glazbenog koncerta "uživo" već se odnosi prvenstveno na trajno instalirane sustave ozvučenja).

Mjerenje razumljivosti govora korisno je za radio i telefonski prijenos govora (telekomunikacije), kod ozvučenja otvorenih i zatvorenih prostora, a naročito u prostorima gdje se putem govora odvija međuljudska komunikacija ili je govor sredstvo prijenosa znanja i informacija (škole, predavaonice, kongresni centri, čekaonice i kolodvori). Dobra razumljivost govora važna je svakom koji sluša, bez obzira da li je to učenik, student ili putnik i jednako je bitna onima koji dobro čuju kao i osobama oštećena sluha. Istraživanja na ovom području su pokazala da su oktave s centralnim frekvencijama od 500 Hz, 1 kHz i 2 kHz najznačajnije za dobro razumijevanje govora. Poznato je također da vokali u nižem frekvencijskom području daju potrebnu snagu (glasnoću), a konsonanti, koji su u odnosu na vokale na višim frekvencijama, daju razumljivost govora. Prosječna snaga vokala u govoru, mjerena kod usta, iznosi oko 500 μ W (kod glasnog govora muškarca snaga može prekoračiti čak 1800 μ W), a snaga najtiših konsonanata iznosi svega oko 3-5 μ W. Dakle, iako je u prosjeku snaga vokala oko 100 puta veća od snage konsonanata, ipak su konsonanti važniji za razumljivost govora. To potvrđuje da objektivne akustičke veličine nisu uvijek u korelaciji sa subjektivnim osjetom. S aspekta percepcije govora i njegove razumljivosti važna su tri ometajuća parametra. To su udaljenost između govornika (ili izvora zvuka) i slušatelja, nivo buke (ometajućeg šuma) i vrijeme reverberacije (odjeka).

Indeks razumljivosti govora (**STI - Speech transmission index**) određen je standardima HRN EN 60268-16, IEC 60268-16:2003 i EN 60268-16:2003. Za mjerenje razumljivosti govora koji se reproducira preko razglasnog sustava koristi se parametar **STI-PA (Speech Transmission Indeks - Public Address system)**. Uz STI se može koristiti i jednostavniji – "brži" način mjerenja razumljivosti govora - **RASTI (Rapid Speech Transmission Index)** te **CIS (Common Intelligibility Scale)**. Postupak mjerenja STI provodi se tako da se generira posebno pripremljen zvučni signal koji svojim frekvencijskom spektrom i intenzitetskim modulacijama imitira ljudski govor (muški ili ženski). Mjerenje se provodi tako da se na mjestu slušatelja postavlja se mjerni uređaj kojim se vrši akustička analiza generiranog zvuka unutar frekvencijskog raspona od 7 oktavnih pojaseve s

centralnim frekvencijama od 125 Hz do 8 kHz. Pri tome se analiziraju podaci o razini govornog signala, razini pozadinske buke te vremenu odjeka i reverberacije. RASTI postupak sastoji se u generiranju ružičastog šuma u područjima oko 500 Hz i 2 kHz, a šum je moduliran niskim frekvencijama od 0,7 do 11,2 Hz (imitacija govorne modulacije). Spomenuti šum se prima preko posebnog prijemnika – mjernog instrumenta, koji osim generiranog šuma, registrira i druge eventualne ometajuće parametre: razinu buke, vrijeme reverberacije i sl. Odgovarajućim algoritmom dobiva se brojčana vrijednost u rasponu od 0 do 1 (vrijednost od 0 - 0,30 označava lošu razumljivost, 0,45 - 0,60 zadovoljavajuću, a 0,75 - 1,00 odličnu razumljivost govora).

Za određivanje razumljivosti govora definirana su još dva pojma (Hassall i Zaveri, 1988):

1. Nivo ometanja govora (**SIL** Speech Interference Level), određuje maksimalnu udaljenost na kojoj je moguć normalan razgovor. Prema ISO standardu SIL se dobiva mjerenjem nivoa buke u području oktava s centralnim frekvencijama od 0,5 1,2 i 4 kHz, a zatim se u posebnoj tablici očita maksimalna udaljenost u metrima s koje je moguće slušanje govora uz zadovoljavajuću razumljivost.
2. Indeks brzine prijenosa govora (**RASTI** Rapid Speech Transmission Index) mjeri nivo subjektivne razumljivosti govora (Houtgasti Steeneken, 1985, Steeneken i Houtgast, 1985, Humes, Boney i Loven, 1987). Postupak mjerenja RASTI-a sastoji se u generiranju ružičastog šuma u područjima oko 500 Hz i 2 kHz, a šum je moduliran niskim frekvencijama od 0,7 do 11,2 Hz. Spomenuti šum se prima preko posebnog prijemnika, koji osim generiranog šuma, prima i druge eventualne ometajuće zvukove (buku), a uz to mjeri i vrijeme reverberacije zvuka. Odgovarajućim matematičkim postupkom dobiva se brojčana vrijednost RASTI-a koja se kreće u rasponu od 0 do 1 (0 - 0,30 označava lošu razumljivost, 0,45 - 0,60 zadovoljavajuću, a 0,75 - 1,00 odličnu razumljivost govora).

SIL i RASTI su vrlo korisni u arhitektonskoj akustici (u svim prostorima gdje se komunicira govorom). Na razumijevanje govora auditivnim putem (slika) utječu i sljedeće činjenice:

- konsonanti su smješteni u višem dijelu spektra a vokali u nižem,
- konsonanti su znatno tiši glasovi od vokala (za oko 20 do 40 dB),
- konsonanti su puno važniji za razumijevanje govora od vokala (oni nose jezičnu i semantičku informaciju u govoru),
- vokali su manje važni za razumijevanje ali oni nose energiju (glasnoću) da bi govor bio dovoljno glasan,
- bez vokala govor bi bio postao pretih ali djelomično razumljiv,
- bez konsonanata govor bi ostao dovoljno glasan (čujan) ali bi bio potpuno nerazumljiv.
- Za razumljivost govora bitna su tri osnovna uvjeta:
- da slušatelj poznaje i razumije jezik na kojem mu se netko obraća,
- da ima uredan sluh koji omogućava slušanje,
- da se reprodukcija i slušanje odvijaju u odgovarajućim okolinskim uvjetima: bez ometajuće buke ili šuma, reverberacije i uz adekvatnu glasnoću zvuka.

Kod umjerenog gubitka sluha postoje teškoće u slušanju tihih konsonantskih zvukova. Stoga je upravo te frekvencije potrebno pojačati a istovremeno stišati niske frekvencije vokala koje zbog "masking – efekta" prekrivaju visoke tihe zvukove i čine ih nečujnima. Osim ovoga, kod svih poteškoća u slušanju (npr. i kod staračke naglušnosti – prezbiakuzije) potrebno je, što je više moguće, eliminirati okolinsku buku (npr. žamor drugih osoba i buku strojeva) te umanjiti nepoželjne efekte utjecaja prostora (prostorije) na izvorni zvuk. To se osobiti odnosi na pojavu reverberacije i jeke koja će biti pojačana u svim prostorijama s puno glatkih i ravnih površina (zidovi, pod i strop) a ovi će efekti biti još naglašeniji u većim prostorijama kao što su učionice u školama.

Da bismo poboljšali razumljivost govora moramo kod svih osoba s oštećenjima sluha koristiti njihova slušna pomagala (ukoliko su im potrebna) te sami voditi računa o tome da naš govor (govor njihovih sugovornika) bude jasan, s dobrom dikcijom, ne prebrz i dovoljno glasan. Također treba nastojati prilagoditi prostor za što bolju komunikaciju govorom:

- eliminirati i prigušiti sve izvore buke (vanjske ili unutrašnje),
- smanjiti reverberaciju i odjek u prostoriji (postavljanjem sagova, tapiserija, zavjesa i drugih materijala koji apsorbiraju zvuk),
- omogućiti dobru vizualnu komunikaciju s osobom koje ima poteškoće u slušanju i/ili razumijevanju govora.

Ako se radi o javnim prostorima (npr. učionice), poželjno je da govornik koristi usmjereni (kardiodni) mikrofona a slušatelj s oštećenjem sluha prima signal bežičnim putem (FM sustavom ili preko induktivne petlje). Ovo vrijedi i za osobe s kohlearnim implantom. Treba napomenuti da će FM sustav ili induktivna petlja znatno eliminirati utjecaj okolinske buke a govor ozvučenog govornika postaje puno razumljiviji jer se eliminiraju efekti reverberacije i udaljenosti između govornika i slušatelja.

Slušno polje (ploha) prikazuje frekvencijski i intenzitetski raspon unutar kojega ljudsko uho čuje. Ograničeno je donjim pragom čujnosti, gornjim pragom bola te donjom i gornjom graničnom frekvencijom. Slušno polje prikazuje koje frekvencijsko područje uho čuje i u kojem rasponu. Dinamika slušanja je raspon između praga čujnosti i praga bola. Na srednjim frekvencijama iznosi oko 120 dB (od praga čujnosti do praga boli) dok je na niskim i visokim frekvencijama dinamički raspon znatno manji.

U našem slučaju bitni su drugi i treći uvjet. Već smo vidjeli da kod umjerenog gubitka sluha postoje teškoće u slušanju tihih konsonantskih zvukova. Stoga je upravo te frekvencije potrebno pojačati a istovremeno stišati niske frekvencije koje zbog "masking – efekta" prekrivaju visoke tihe zvukove i čine ih nečujnima. Osim ovoga, kod svih poteškoća u slušanju (npr. i kod staračke naglušnosti – prezbiakuzije) potrebno je, što je više moguće, eliminirati okolinsku buku (npr. žamor drugih osoba i buku strojeva) te umanjiti nepoželjne efekte utjecaja prostora (prostorije) na izvorni

koja ima uvijek isti volumen i oblik bez obzira koji od ta tri glasa izgovaramo, pa je zato i ta niža optimala identična za sva tri glasa. Više optimalne nazala vjerojatno se generiraju u usnoj šupljini i one se međusobno razlikuju zato što se kod artikulacije svakog nazala mijenja volumen i oblik usne šupljine. Rezultati ovih istraživanja primjenjuju se kod korekcije izgovora glasova prema verbotonalnoj metodi. Istraživanja su pokazala da glas na svojoj optimali zadržava sve bitne karakteristike, a gubi redundantne elemente (Vuletić, 1987). Osim oktavnog filtriranja neki su autori primijenili i poluoktavno ili terčno filtriranje kod kojeg se optimalne znatno razlikuju od verbotonalnih optimala i koriste diskontinuirane pojaseve (Desnica – Žerjavić, 1982). Ispitivanja optimala glasova su načinila veliki pomak u razumijevanju i objašnjavanju auditivne percepcije glasova jer su pokazala da subjektivni kriteriji percepcije ne slijede uvijek i jednako objektivne akustičke veličine. Tako se npr. glas **i** ne percipira na intenzitetski najjačem dijelu spektra jer tu slušamo relativno jači glas **s**. Međutim, područje percepcije glasova još nije do kraja istraženo. Nedovoljno je istraženo da li je zaista širina oktave najbolja za percepciju, ili je optimalan pojas širi. U vezi ove primjedbe svakako treba spomenuti istraživanje Horge (1988). U njegovom eksperimentu, između ostalog, ispitan je stupanj prepoznavanja glasa na pojedinim frekvencijskim pojasevima. Glasovi su prezentirani u obliku slogova CV (konsonant - vokal). Kombinacijom svakog konsonanta sa svakim vokalom dobiveno je ukupno 125 slogova (25 x 5). U eksperimentu je sudjelovalo deset ispitanika s urednim slušnim i govornim statusom. Svaki od njih je pročitao listu od 125 slogova, a te snimke su zatim filtrirane kroz deset različitih frekvencijskih pojaseva kojima je širina varirala približno od jedne treće pa do tri oktave (kontinuirano). Istih deset ispitanika je slušalo filtrirane snimke sa zadatkom da prepoznaju slogove. Rezultati se mogu promatrati s različitih aspekata, a ovdje će biti interpretirani djelomično.

Na najnižem frekvencijskom pojasu koji je obuhvaćao širinu od oko tri oktave (75 - 750 Hz) ispitanici su prepoznali konsonante **k**, **g**, **h** u 80 - 90% slučajeva, ali isto tako su se na istom pojasu javljale i najčešće greške u slušanju tako da su drugi konsonanti percipirani pogrešno kao **k**, **g**, **h**.

Na istom pojasu najbolji postotak (95 %) prepoznavanja imali su glasovi **r** i **l**. Drugi konsonanti su relativno najrjeđe u percepciji zamijenjeni kao **r** i **l**.

Glasovi **s** i **š** su pravilno prepoznati u 85% slučajeva. Glas **s** je najbolje prepoznat na najvišem oktavnom pojasu (4150 - 8880 Hz), dok je glas **š** podjednako dobro prepoznavan oktavnim, poluoktavnim i terčnim pojasevima (čak i uže od treće) u području od 2320 - 5280 Hz. Svi ostali konsonanti su imali slabiji postotak prepoznavanja (50 - 70 %). Horga na temelju svog istraživanja pretpostavlja da u području najveće osjetljivosti sluha (1000 - 2000 Hz) postoji jedan visoko redundantni kanal koji omogućuje jednako dobru percepciju svih glasova, te da postoje dva kanala selektivnih svojstava (visoki i niski), koji su optimalni za određene glasove i određena svojstva.

Autor dalje kaže da optimalni uvjeti slušanja omogućuju slušanje izvan optimale, dok bi otežani uvjeti slušanja (u slučaju patologije) prizivali u pomoć optimalu.

Ovome u prilog govori istraživanje koje su proveli Landercy i Renard 1974 (prema Horga, 1988). Oni su ispitivali prepoznavanje filtriranih i nefiltriranih samoglasnika kod osoba s normalnim i oštećenim sluhom. Rezultati su pokazali da je kod normalnog sluha bolje prepoznavanje kod nefiltriranih samoglasnika, a kod oštećenja sluha prepoznavanje je bolje kod filtriranih suglasnika. Iz ovoga bi se moglo zaključiti da u patologiji sluha optimala ima prednost pred tzv. direktnim kanalom dok je kod normalnog sluha obrnuto, ali kakvo je slušanje kod patologije govora još nije dovoljno poznato. Prema citiranim istraživanjima može se smatrati da je kod otogenih dislalija za percepciju dominantna optimala, a kod drugih govornih poremećaja to bi trebalo tek ispitati. Na području psihoakustike, a posebno percepcije glasova, ima još dosta nepoznatog, a djelomično se to može objasniti i tehničkim ograničenjima mjernih instrumenata. Kao primjer možemo spomenuti "sporo" reagiranje filtra zbog čega dolazi do grešaka u analizi glasova koji traju vrlo kratko ili u sebi sadrže brze frekvencijske promjene. Vrijeme potrebno za reakciju filtra određeno je širinom njegova pojasa ($T = 1/B$, gdje je T - vrijeme reakcije filtra izraženo u sekundama, a B je širina pojasa propuštanja filtra u Hz). Tako npr. filtru širine 200 Hz potrebno je vrijeme reakcije od 5 ms. Kako znamo da okluzivi mogu trajati minimalno 2 ms, to znači da je frekvencijska analiza pojedinih glasova s klasičnim filtrima nepouzdana. Cjelokupno vrijeme reakcije i smirivanja filtra traje još i znatno duže ($T = 3/B$), a to otežava akustičku analizu nestacionarnih signala kao što su glasovi (Randall, 1987). Kao posebno područje psihoakustike treba spomenuti i testove dihotičkog slušanja. Ovim metodama ispituje se hemisferalna dominantnost za percepciju govornog zvuka. Ispitivanja su pokazala da je lijevo uho dominantno za neverbalne stimuluse, a desno uho za primanje govornih stimulusa (Čemalović-Boko, 1983). Dok su starija istraživanja mjerila uglavnom postotak točnih odgovora za lijevo i desno uho, novija istraživanja preferiraju mjerenje latencije odgovora, jer se čini da je temporalni aspekt kortikalne obrade govora značajniji za ispitivanje dominantnosti percepcije govora (Hughes, 1978). Verbalni signal dobiven na desno uho brže je identificiran od onoga u lijevom uhu i smatra se da su ukršteni auditivni putovi djelotvorniji za percepciju od ne-ukrštenih. Dominantnost desnog uha u obradi verbalnih stimulusa pripisuje se boljoj povezanosti desnog uha i centara za govor u lijevoj hemisferi (Bhatnager i dr., 1989, Repp, 1978). Iako je utvrđena dominacija desnog uha u percepciji riječi, na nivou percepcije glasa ova dominantnost nije još dovoljno izražena. Kreiman i Lancher (1988) nisu pronašli razlike u lateralizaciji percepcije glasova kod dihotičkog slušanja, dok je kod percepcije riječi utvrđena značajna dominantnost desnog uha i centara za govor u lijevoj hemisferi. Čini se da iako su glas i riječ u akustičkom smislu slični, oni se ipak obrađuju različitim kortikalnim mehanizmima. Može se pretpostaviti da riječ podliježe percepciji na nivou jezika, a izolirani glas predstavlja samo zvuk

(fonem) bez semantičkog (jezičnog) značenja. Neka elektrofiziološka istraživanja (Sachs, 1985) pokazuju da se prijenos stimulusa vokala i konsonanata u slušnom živcu razlikuju (prostorno i vremenski kodiranje), a razlike bi se mogle objasniti njihovim akustičkim osobinama (harmoničan i neharmoničan zvuk). Isto tako utvrđeno je da kod normalnog razvoja dominantnost hemisfere ne utječe na razvoj govora, ali se pretpostavlja da bi kod djece s oštećenjem mozga ta zavisnost vjerojatno postojala (Treves, Goldsmidt i Korczyn, 1983).

8.8. SLUŠNO PROCESIRANJE

Slušno procesiranje podrazumijeva nekoliko aspekata slušnog sustava i procesa koji su bitni u procesu slušne obrade kao što je lokalizacija i lateralizacija zvuka u prostoru, slušna diskriminacija, temporalni (vremenski) aspekt slušanja i sl. Ovi procesi odnose se na slušnu obradu svih zvukova (pa i govornih) i mogu utjecati na mnoga područja ili funkcije uključujući jezik i govor (ASHA, 1996). Proces slušanja započinje nizom različitih aktivnosti koje uključuju vanjsko, srednje i unutarnje uho. Te aktivnosti šalju zvučni signal do mozga i omogućavaju pojedincu da ga razumije. Od trenutka pojave zvučnog vala na bubnjiću pa do njegove spoznaje, događa se veliki broj mehaničkih (uho) i neurobioloških (mozak) operacija (Musiek i Cherrmak, 2007). Ljudski mozak sastoji se od moždanog debla, malog mozga i velikog mozga. Veliki mozak sastoji se od dvije hemisfere a svaka je hemisfera specijalizirana za određene vrste zadataka i funkcija (Bellis, 2003). Akustički signal pretvara se u pužnici u signal kojega slušni živac provodi u središnji slušni živčani sustav na daljnju obradu. Danas je poznato da u gotovo svim regijama mozga postoje neuroni koji reagiraju na slušni podražaj a Wernickeovo područje kao primarna slušna asocijativna kora odgovorno je za prepoznavanje jezičnih podražaja i razumijevanje govornog jezika. Corpus callosum integrira podatke između dviju hemisfera i umanjuje mogućnost inter-hemisferalne kompeticije u odabranim zadacima (Bellis, 2003).

Proces obrade govora podrazumijeva akustičku, fonetsku, fonološku, sintaktičku i semantičku razinu (Kuhl, 1992; prema Stollman, 2003) a semantička i sintaktička razina predstavljaju jezičnu razinu govora (Stollman, 2003). Flexer (1999) naglašava značajnu ulogu jezika u obradi govora te tvrdi da se djeca razlikuju od odraslih u načinu "slušanju". Prva je razlika jer se djeca do dobi od 15 godina nalaze još uvijek u periodu maturacije slušnih struktura mozga. Drugo, djeca s razlikuju od odraslih i po tome kako slušaju jer ona nemaju, poput odraslih, višegodišnje jezično iskustvo.

Između dolaska govornog zvuka na bubnjić i spoznaje o njemu, posreduje vrlo veliki broj mehaničkih i neurobioloških operacija (Cherrmak i Musiek, 1997). Slušanje ne završava samo detekcijom slušnih podražaja. Obje razine slušanja, periferna i središnja međusobno se isprepliću i rade zajedno. Teorija obrade informacija govori da "bottom up" čimbenici (senzorno enkodiranje na

razini receptora) i "top down" čimbenici (spoznaja, jezik i druge funkcije na centralnoj razini) rade zajedno. Osim toga, znatan dio onog što se smatra središnjim slušnim procesiranjem nastaje tako da slušatelj toga nije svjestan (Bellis, 2003). Autorica osim jezika navodi i druge "top down" čimbenike kao što su spoznaja, pažnja i izvršne funkcije koje utječu na sposobnost slušanja i procesiranja slušnog signala. Autorica navodi da smanjene sposobnosti pažnje ili previsok stupanj budnosti može spriječiti dijete da prati i pravilno procesira slušni signal. Slušno procesiranje zahtjeva i odgovarajuće izvršne funkcije koje "nadziru" ili koordiniraju rješavanje problema, učenje, pamćenje, pažnju, planiranje i donošenje odluka. Stoga se može zaključiti da čak i ako je osnovno osjetilno kodiranje (na razini uha) uredno, disfunkcija viših razina ili neadekvatni "top-down" čimbenici imat će negativan utjecaj na sposobnost procesiranja i razumijevanja govornog jezika.

8.9. SLUŠNO I JEZIČNO PROCESIRANJE

Pojam "procesiranje" potaknuo je niz rasprava pa i nesigurnost među stručnjacima poput audiologa, logopeda, psihologa i učitelja. Nazivi poput jezično procesiranje (ili jezična obrada), centralno slušno procesiranje, slušno procesiranje, fonološko procesiranje, temporalno procesiranje, slušna percepcija i razumijevanje koriste se za opisivanje što ljudi rade kada primaju, opažaju, tumače i razumiju jezik, ili kada nisu uspješni u nekoj od tih sastavnica kod usvajanja ili korištenja jezika. Termin (centralno) slušno procesiranje djelomično se odnosi na njegovu uključenost u procese provođenja slušnih signala. Međutim, ta definicija uz auditivni aspekt procesiranja, podrazumijeva i jezično procesiranje (primanje, opažanje, analiziranje, pohranjivanje, formuliranje i produciranje jezika). Npr. možemo koristiti znakovni jezik za odašiljanje i primanje poruka. Gluhe ili teško nagluhe osobe procesiraju jezik bez pomoći auditivnog sustava. Pisani jezik je još jedan način kako procesiramo jezik bez direktnog auditivnog ulaza. Razvoj čitanja i pisanja je znatno olakšan kada postoji znanje (iskustvo) o verbalnom govoru i jeziku, no njihov razvoj je moguć i bez verbalnog ulaza. Ovi primjeri pokazuju da jezično procesiranje postoji u tandemu s auditivnim procesiranjem, ali isto tako mogu biti nezavisni jedno od drugoga. (Fahey, 2005.)

Fonološko procesiranje uključuje mentalnu sposobnost obrade fonoloških aspekata jezika, uključujući sposobnosti rimovanja i sastavljanja/rastavljanje riječi (analiza i sinteza).

Temporalno auditivno procesiranje uključuje sposobnost percipiranja kratkih akustičkih podražaja govornih zvukova i praćenje vrlo brzih promjena tih zvukova koji se javljaju u govoru (Reed, 2005 prema Hoff, 2006). Stoga je povezanost PSP i jezičnih faktora kod teškoća učenja od posebnog interesa za logopede i audiologe (Willeford i Burleigh, 1985, prema Hoff, 2006).

Treba napomenuti da slušni deficit nije nužan uzrok jezičnih teškoća niti je sam, kao takav, dovoljan da uzrokuje jezične teškoće. Teškoće slušanja mogu biti samo jedan faktor koji onda u

kombinaciji s ostalima uzrokuje jezične teškoće (Bishop i McArthur, 2005).

8.10. POREMEĆAJI SLUŠNOG PROCESIRANJA

Već je uvodno rečeno da poremećaj slušnog procesiranja podrazumijeva teškoće u obradi slušnih podražaja u središnjem živčanom sustavu ali te teškoće nisu posljedica jezičnih, kognitivnih ili drugih teškoća. Međutim, PSP može biti uzrok ili može biti povezan s teškoćama u jeziku, komunikaciji i učenju. Iako PSP može biti udružen s drugim poremećajima, PSP nije rezultat ovih drugih poremećaja. Isto tako kod djece s kognitivnim ili jezičnim teškoćama ne smije se apriori smatrati da su te teškoće posljedica PSP-a. Zato u dijagnosticiranju PSP treba biti vrlo temeljit i oprezan a konačnu dijagnozu treba postaviti tek nakon pribavljenih nalaza i mišljenja različitih stručnjaka, osobito logopeda, audiologa i psihologa.

Poremećaj slušnog procesiranja u starijoj literaturi se naziva "centralni poremećaj slušnog procesiranja", "centralna gluhoća". "gluhoća za riječi" i sl. Danas je prihvaćen termin "poremećaj slušnog procesiranja" (eng. auditory processing disorders).

PSP nije posljedica jezičnih ili kognitivnih teškoća ali može biti udružen s njima. To je poremećaj uzrokovan teškoćama u razumijevanju zvučnog signala a najčešće je povezan s govorno-jezičnim teškoćama, teškoćama učenja, čitanja i pisanja te stoga upravo logopedija mora detaljnije baviti ovim poremećajem. Prva istraživanja PSP-a započela su prije više od pola stoljeća, kada je Myklebust 1954. godine (prema Bellis, 2003) naglasio važnost kliničke procjene središnjeg slušnog funkcioniranja, a posebice u djece sa sumnjom na komunikacijske teškoće. On tada se ovaj poremećaj nazivao "oštećena slušna percepcija" (eng. auditory imperception). Nekoliko godina kasnije napravljen je prvi dihotički test (Kimura, 1961, prema Bellis, 2003), čije se inačice i danas koriste prilikom ispitivanja i dijagnosticiranja PSP-a kao i inačice testa govora u buci kojeg je prvi predstavio Miller 1974. godine (prema Fuente, McPherson, 2006). Godine 1977. održana je prva konferencija na temu PSP-a u djece koja je potaknula daljnja istraživanja tog poremećaja (ASHA, 2005).

American Speech – Language –Hearing Association (ASHA) definirala je 2005.godine slušno procesiranje i poremećaj slušnog procesiranja. Slušno procesiranje se odnosi na učinkovitost i djelotvornost kojom središnji živčani sustav koristi slušne informacije, odnosno na perceptivnu obradu slušnih informacija u SŽS-u, i neurobiološku aktivnost koja je u podlozi te aktivnosti i stvara elektro-fiziološke slušne potencijale. Poremećaj slušnog procesiranja se odnosi na perceptivne teškoće u obradi auditivnih informacija u SŽS-u, koji se očituju slabom izvedbom u jednoj ili više sposobnosti slušnog procesiranja (ASHA, 2005).

Teškoće slušnog procesiranja najviše se očituju u situacijama koje su za slušanje najzahtjevnije, npr. u bučnoj okolini, nepovoljnim akustičkim uvjetima, velikoj udaljenosti od slušatelja od govornika, prebrzi tempo govornika, govor stranim naglaskom i sl. (Sloan, 1998; prema Ciocci, 2002). Prema Bellis/Ferre modelu (Bellis, 2006) moguće je identificirati 3 podtipa poremećaja slušnog procesiranja:

1. Teškoće auditivnog dekodiranja (primarni slušni korteks – lijeva hemisfera). Teškoće auditivnog dekodiranja uključuju teškoće slušanja govora u bučnoj okolini, teškoće dekodiranja grafema ili/i zamjene sličnih glasova ili riječi u području visokih frekvencija.
11. Teškoće procesiranja prozodijskih govornih elemenata (desna hemisfera) odražavaju se na primanje govora, čitanje i pragmatiku.
12. Teškoće slušne integracije (corpus callosum). Teškoće slušne integracije uključuje teškoće u koordinaciji auditivne diskriminacije s prozodijskim elementima u govoru (Musiek i Chermak, 2007).

Poremećaj slušnog procesiranja može postojati i kod odraslih, a manifestira se glasnijim govorom, čestim ponavljanjem riječi i rečenica te smanjenom sposobnošću pamćenja informacija dobivenih sluhom (Heđever i Bonetti, 2010).

8.10.1. UZROCI POREMEĆAJA SLUŠNOG PROCESIRANJA

Poremećaj slušnog procesiranja može imati različitu etiologiju. Jedan od mogućih čimbenika je zakašnjeli razvoj slušanja koji nastaje kao posljedica učestalih upala srednjeg uha u dječjoj dobi. Stoga je važan i audiološki pregled prije postavljanja konačne dijagnoze. Chermak (2001, prema Whitaker, 2008) navodi sljedeće uzroke PSP-a u dječjoj dobi:

- bolesti središnjeg živčanog sustava: < 5%
- zakašnjelu maturaciju: 25-30%
- narušen sustav slušnog procesiranja: 65-70%

PSP može biti posljedica zakašnjelog (sporijeg) sazrijevanja ili razvojnih teškoća središnjeg živčanog sustava kao i stečenih neuroloških poremećaja. Uzrok PSP-a je uglavnom posljedica poremećaja u središnjem slušnom sustavu, uz veliki kognitivni utjecaj i mogući utjecaj perifernih slušnih smetnji.

8.10.2. KARAKTERISTIKE PSP

Poremećaj slušnog procesiranja u ranoj dobi manifestira se receptivno i ekspresivno, a kao njegove tipične posljedice mogu se javiti teškoće u pamćenju pjesmica ili priča te pretjerana osjetljivost na buku. Obično se navodi pet glavnih problema koji se uočavaju kod djece s PSP:

- Dijete teško prati i razumije govor u bučnom okruženju.
- Dijete ima teškoće u pamćenju informacija (poteškoće auditivne memorije) kao što su upute, popisi, nastavno gradivo i sl.
- Dijete ima teškoće u slušnom razlikovanju (auditivnoj diskriminaciji) sličnih fonema ili riječi (npr. č – š, koza – loza).
- Dijete ima teškoće u auditivnoj pažnji (ne može zadržati pažnju slušajući predavanja, nastavu i sl.
- Problemi auditivne kohezije – djeci su teški zadaci na višem nivou slušanja npr. izvođenje zaključaka iz razgovora, razumijevanje zagonetki ili verbalnih matematičkih problema.

Tipične su i sljedeće teškoće kod djece školskog uzrasta s PSP:

- teškoće u jezičnom izražavanju i razumijevanju (nekonzistentnost odgovora),
- često ponavljane pitanja u komunikaciji poput: *Što?, Aaa?*
- poteškoće slušanja ili usmjeravanja pažnje na sugovornika u bučnom okruženju,
- česti gubitak misli (što sam ono htio reći...?),
- teškoće u slijeđenju dužih verbalnih uputa,
- slabo memoriranje verbalno prezentiranih informacija,
- teškoće lokalizacije zvuka u prostoru,
- siromašne sposobnosti u jezičnom razumijevanju i izražavanju,
- teškoće čitanja i pisanja,
- loša diskriminacija glasova u govoru,
- teškoće u pisanju bilješki tijekom nastave,
- teškoće učenja stranog jezika,
- slabo kratkotrajno pamćenje,
- problemi u ponašanju koji su rezultat poteškoća u učenju i otežanom savladavanju školskog gradiva.

Whitaker (2008) također navodi neke moguće indikatore za poremećaj slušnog procesiranja:

- teškoće slijeđenja višestrukih naredbi,
- siromašne čitalačke vještine i vještine pisanja,
- teškoće snalaženja u grupnom radu,
- (samo)izolacija djeteta,
- loše glazbene sposobnosti (pjevanje i sl.),
- zakašnjeli razvoj motoričkih vještina.

Poremećajem slušnog procesiranja nema identične karakteristike kod svakoga. Dijete s PSP-om može imati kombinaciju različitih simptoma ili samo jedan od njih. Evo još nekoliko mogućih simptoma koji mogu ukazivati na PSP:

- zabrinutost roditelja ili učitelja jer dijete "loše" sluša,
- slabija akademska postignuća iako je sluh uredan sluh, uredna neverbalna inteligencija, te uredne vještine vizualnog procesiranja,
- dijete ima teškoće slijeđenja verbalnih uputa,
- kratka pažnja,
- siromašno i nekonzistentno pamćenje slušnih informacija,
- teškoće pri pisanju diktata,
- selektivno slušanje,
- često upotrebljavanje riječi „što?“
- dijete čuje, ali ne razumije,
- neodgovarajući odgovori na postavljena pitanja,
- funkcioniranje kao da postoji blago oštećenje sluha, iako je sluh uredan,
- djetetu smeta buka,
- problemi sa čitanjem ili sricanjem,

- jezični problemi,
- prisutnost ADHD-a (često prisutan uz PSP),
- česte upale uha,
- anamneza ukazuje na moguće disfunkcije SŽS (asfiksija kod poroda, preboljen meningitis, traumatske ozljede glave).

8.10.3. PODTIPOVI POREMEĆAJA SLUŠNOG PROCESIRANJA

Osim navedenoga, djeca s PSP mogu imati i druge sekundarne karakteristike poremećaja jezika, čitanja i pisanja te slabe pažnje i distraktibilnosti (Tablica 1).

Tablica 10. Poremećaji i pripadajući simptomi i ponašanja karakteristična za PSP

Oblik slušnog poremećaja	Simptomi i ponašanja
Lokalizacija zvuka	Izraženije teškoće u bučnom okruženju
Slušno prepoznavanje	Teškoće praćenja verbalnih zahtjeva
Slušna diskriminacija	Poremećaji čitanja, pisanja i jezika
Vremensko procesiranje	Teškoće razumijevanja brzo prezentiranih verbalnih informacija
Procesiranje frekvencijski ili vremenski nepotpunih signala	Teškoće slušanja u pozadinskoj buci
Dihotičko slušanje	Nepažnja, distraktibilnost, teškoće u učenju

Bamiou, Musiek, i Luxon (2001) navode da neovisno o uzrocima, PSP se može manifestirati kao deficit:

- lokalizacije zvuka,
- diskriminacije zvukova, prepoznavanja i razlikovanja različitih zvučnih uzoraka,
- vremenske obrade zvučnih stimulusa,
- deficit u prepoznavanju frekvencijski ili vremenski nepotpunih zvučnih signala.

Bellis (2003) navodi 5 podtipova poremećaja slušnog procesiranja, te njihovu simptomatologiju odnosno karakteristike:

Teškoće u slušnom dekodiranju:

- teškoće slušanja u buci,
- često traženje da se ponovi rečeno,
- bolji su u neverbalnim – logičkim predmetima (npr. matematika),
- problemi s analizom/sintezom glasova i sricanjem.

Teškoće u prozodiji:

- teškoće u komunikacijskim vještinama odnosno u pragmatici,
- često davanje neadekvatnih odgovora,
- govor i čitanje su monotoni,
- teškoće s ritmom i melodijom.

Teškoće u integraciji:

- teškoće primjenjivanja adekvatne prozodije u određenom kontekstu,
- fonološki defeciti,
- omisije glasova,
- teškoće u čitanju i sricanju.

Teškoće u organizaciji:

- slabost u organizacijskim vještinama,
- teškoće sekvencioniranja,
- teškoće slušanja govora u buci.

Teškoće u jeziku:

- deficiti u receptivnom jeziku uključujući semantiku i sintaksu,
- problem s jezičnim konceptima,
- teškoće u razumijevanju informacija i riječi koje imaju više značenja,
- teškoće u razumijevanju pročitano,
- gramatičke greške u pisanju.

8.10.4. PSP I DRUGE TEŠKOĆE

PSP je vrlo kompleksan i heterogen te je često nemoguće jednostavno povezati teškoće u slušnom procesiranju s drugim teškoćama jezika, učenja i sl. Osim toga neke osobe s poremećajem slušnog procesiranja mogu imati i sasvim druge teškoće poput poremećaja u ponašanju, emocionalnih ili socijalizacijskih teškoća. Komunikacijske teškoće i teškoće u učenju mogu imati i negativan utjecaj na samopouzdanje i osjećaj vlastite vrijednosti. Stoga rano otkrivanje i odgovarajući tretman poremećaja slušnog procesiranja može ublažiti vjerojatnost pojave sekundarnih problema.

Treba istaknuti kako socijalni i emocionalni problemi ne spadaju i nisu sastavni dio dijagnosticiranja poremećaja slušnog procesiranja. Teži i ozbiljni psihološki problemi, različite kriminalne radnje te druge psihosocijalne teškoće ne mogu se i ne smije smatrati posljedicom poremećajem slušnog procesiranja, neovisno o tome ima li osoba s tim psihosocijalnim teškoćama i PSP (ASHA, 2005).

8.10.4.1. PSP I ADHD

Često se događa da se djecu koja imaju poremećaj slušnog procesiranja klasificira kao djecu s ADHD-om (*Attention Deficit Hyperactivity Disorder*), poremećajem u ponašanju ili nekim drugim poremećajima. U sljedećoj tablici prikazana je usporedba obrazaca ponašanja kod ADHD-a i poremećaja slušnog procesiranja. Pažljivom usporedbom karakteristika oba poremećaja moguće je odrediti (naravno, uz kompletnu dijagnostiku) da li neko dijete ima jedan ili drugi poremećaj. Naravno, moguće je da koegzistiraju oba poremećaja i u tom slučaju treba provesti vrlo pažljivu i detaljnu dijagnostiku (psiholog, logoped, audiolog).

Tablica 11. Usporedba ADHD-a i poremećaja slušnog procesiranja

ADHD	PSP
nepažljivost	teškoće sa slušanjem pozadinskih zvukova
smetenost	teškoće slijeđenja verbalnih uputa
hiperaktivnost	siromašne vještine slušanja
nemirnost	akademske poteškoće
impulzivnost	teškoće auditivne asocijacije
nametljivost	smetenost
	nepažljivost

8.10.4.2. PSP, FONOLOŠKI I ARTIKULACIJSKI POREMEĆAJI

Fonološki je poremećaj karakteriziran dječjom nemogućnošću da izgovori ili oblikuje određeni glas u određenoj dobi. Ukoliko je fonološki poremećaj posljedica nemogućnosti artikulacije glasova koja uključuje i motoričku komponentu, poremećaji ovoga tipa opisuju se kao poremećaji fonetske prirode. Drugi tip fonoloških poremećaja odnosi se na leksičke i mentalne reprezentacije glasova. Pogreške izgovora koje nastaju iz fonološkog procesa zovu se fonološke pogreške a takav poremećaj izgovora naziva se fonološkim. Pogreške izgovora uzrokovane senzornim, anatomskim ili neurološkim oštećenjima nazivaju se fonetske pogreške i odgovaraju terminu artikulacijski poremećaj (Bernthal i Bankson, 1984).

Prema DSM-IV (Američko psihijatrijsko društvo, 1998), prvi kriterij za postavljanje dijagnoze fonoloških poremećaja je nemogućnost adekvatnog razvoja glasova djeteta sukladno dobi, a recepcija tih glasova stvara djetetu probleme u školi, kod kuće ili utječe na druge važne aspekte djetetova života. Ako dijete ima sniženo intelektualno funkcioniranje, oštećenje sluha i slično, dijagnoza fonoloških poremećaja se ne može postaviti. Kod fonoloških poremećaja svakako je potrebno procijeniti slušne sposobnosti percepcije glasova i diskriminacije (Locke, 1980). Ponekad fonološki i artikulacijski poremećaji uzrokovani senzornim ili neurološkim oštećenjima mogu biti posljedica PSP.

8.10.4.3. PSP I JEZIČNE TEŠKOĆE

O povezanosti poremećaja slušnog procesiranja i jezičnih teškoća postoje razne teorije i provedeno je niz istraživanja koja su pokazala da se jezične teškoće češće javljaju kada je prisutan i PSP. PSP i jezične teškoće povezuju se fonološkom i temporalno-auditivnom obradom (Weismer, Evans, 2002, prema Hoff, 2006). Stoga je potrebno pažljivo dijagnosticirati poremećaj slušnog procesiranja i poremećaj jezičnog procesiranja budući da oba poremećaja imaju dosta sličnosti i razlikuju se u nijansama. Zato je potrebna suradnja logopeda, audiologa i psihologa kako bi se pravilno dijagnosticirao jedan od poremećaja ili oba udružena.

Tablica 12. Razlike između jezičnog i slušnog poremećaja procesiranja (Richards, 2001)

Poremećaj slušnog procesiranja	Poremećaj jezičnog procesiranja
Češće zahvaća mušku populaciju (75 %)	Teškoće s prisjećanjem poznatih riječi
Uredne slušne sposobnosti	Korištenje neutralnih ili manje specifičnih oznaka
Teškoće u razumijevanju verbalnih naloga, neusklađeni odgovori na auditivne podražaje	Pogrešno korištenje riječi sa sličnom fonološkom strukturom
Kratka slušna pažnja; brzo umaranje tijekom auditivnih zadataka	Proizvodnja kreativnih, originalnih jezičnih termina; korištenje opisa i okolišanja
Smanjeno kratkoročno i dugoročno pamćenje	Korištenje poštapalica kada traže riječi
Odaju dojam da ne slušaju sugovornika iako gledaju u sugovornika; sanjarenje	Česti odgovori "Ne znam" ili "Zaboravio sam"
Teškoće sa slušanjem u buci	Često verbalno ponavljanje
Teškoće s lokaliziranjem zvukova u prostoru	Nepravilnost u učenju – potrebno je opširno ponavljanje već naučenog gradiva
Akademске teškoće (čitanje ili sricanje), te blage jezično – govorne teškoće	Prepoznavanje jezičnih pogrešaka, ali nemogućnost ispravljanja istih
Neprimjereno ponašanje – ometanje, impulzivnost, frustriranost	Nedovršene rečenice ili misli
Često traže ponavljanje rečenog ili često pitaju "Aaa?"	Pragmatičke teškoće – neprimjereno ponašanje
Povijest upala uha	Inteligencija i rječnik primjereni dobi uz prisutnost akademskim teškoćama – teškoće u učenju

8.10.4.3.1. PSP i posebne jezične teškoće

Galić-Jušić (2004) navodi da su posebne jezične teškoće uz disleksiju najčešći razlog specifičnih teškoća u učenju. One su unatoč mnogostrukosti svojih pojavnih oblika, pojednostavljeno rečeno, onaj više ili manje vidljiv jezični deficit koji često nije dijagnosticiran. Posebne jezične teškoće ostaju kada isključimo sve poznate uzroke zbog kojih se može javiti jezični poremećaj, i u tom slučaju "posebne" znači da su specifično jezične prirode, te da im uzroci nisu u smanjenom intelektualnom funkcioniranju, oštećenju sluha, emocionalnim poremećajima, neurološkom oštećenju, ili pak jakoj odgojnoj zapuštenosti (Ljubešić, 1997; prema Galić-Jušić, 2004). Većina istraživanja posebnih jezičnih teškoća ukazuje na smanjenu sposobnost percepcije auditivnih stimulusa. Stoga je važno dijagnostički diferencirati radi li sa o PSP ili posebnim jezičnim teškoćama.

8.10.4.4. PSP I POREMEĆAJI ČITANJA

Iako većina stručnjaka smatra da je čitanje primarno jezična vještina (Catts, 1995., prema Lenček, 1994) novije spoznaje ukazuju na i na značajnu povezanost PSP i teškoća čitanja (Sharma i sur., 2006). Nekoliko je istraživanja pokazalo povezanost PSP-a s poremećajima čitanja iako ova veza još nije dovoljno razjašnjena. Djeca s teškoćama čitanja često mogu imati i teškoće sa slušnim

procesiranjem pa je zbog toga potrebno kod djece s teškoćama čitanja provjeriti i sposobnosti slušnog procesiranja.

8.10.4.5. PSP, MEMORIJA I PAŽNJA

Pažnja i memorija mogu znatno utjecati na djetetov slušni sustav i obradu zvuka. Stručnjacima je stoga teško razlikovati poremećaj slušnog procesiranja od poremećaja pažnje. Zato je važno procijeniti da li dijete ima teškoće na većini senzornih područja. Ako ima, onda se vjerojatno radi o teškoćama pažnje. S druge strane, PSP se povezuje samo uz jedno senzorno područje – slušanje (Gertner, 2003) pa se na temelju senzornih teškoća (sva senzorna područja – ili samo slušanje) može utvrditi o kojem se poremećaju zaista radi.

Pažnja je drugi iznimno važan aspekt slušnog procesiranja. Govorni se zvukovi događaju u slijedu velikom brzinom (najkraći glasovi mogu trajati svega nekoliko desetaka milisekundi). Ako dijete ne sluša s dovoljnom pažnjom dok netko govori, ono neće niti registrirati sve zvučne segmente izgovorenoga. Zvuk nestaje istom brzinom kojom se i pojavljuje. Ako dijete ne prati govornika u trenutku kada on govori, vjerojatno će propustiti dio onoga što ta osoba govori. To će rezultirati prazninama i nekonzistentnim sadržajem u dječjoj percepciji rečenog.

9. GOVORNA AKUSTIKA

9.1. GOVORNI TRAKT

Tri su osnovna elementa bitna za nastanak glasa: zračna struja, glasnice i rezonatori. Zračna struja potrebna za nastanak glasa nastaje u plućima. Glasnice su generator glasa, njihovim treperenjem nastaje čujni zvuk. Rezonatori su šupljine koje osnovnom laringealnom tonu daju čujnost, glasnoću i boju. Osim navedenog u stvaranju govora sudjeluju i izgovorni organi ili artikulatori koji moduliraju zračnu struju te tako stvaraju sve ostale glasove u govoru. Dakle, govor se ostvaruje koordiniranim radom respiracije, fonacije, rezonancije i artikulacije. Govorni trakt vrlo je složen sustav, pored ostalog i zato jer je on također dišni, olfaktorni i digestivni sustav. No on se može promatrati i kao akustički sustav kod kojeg se na osnovu njegovih anatomskih i funkcionalnih osobina mogu prikazati akustički principi generiranja govora. Tri su takve anatomsko-funkcionalne skupine koje sudjeluju u stvaranju govornog zvuka (izvršni govorni organi):

- dišni organi (aktivatori, respiratori)
- organi za glasanje (fonatori, generatori)
- izgovorni organi (artikulatori).

Samo stvaranje zračnog vala nije dovoljno za govor. Da bi se pojavili zvučni učinci, tj. oralno-glasovni govor, zračnu je struju potrebno modulirati s dovoljno brzim promjenama kako bi postale čujne. Kod govora razlikujemo četiri vrste modulacija:

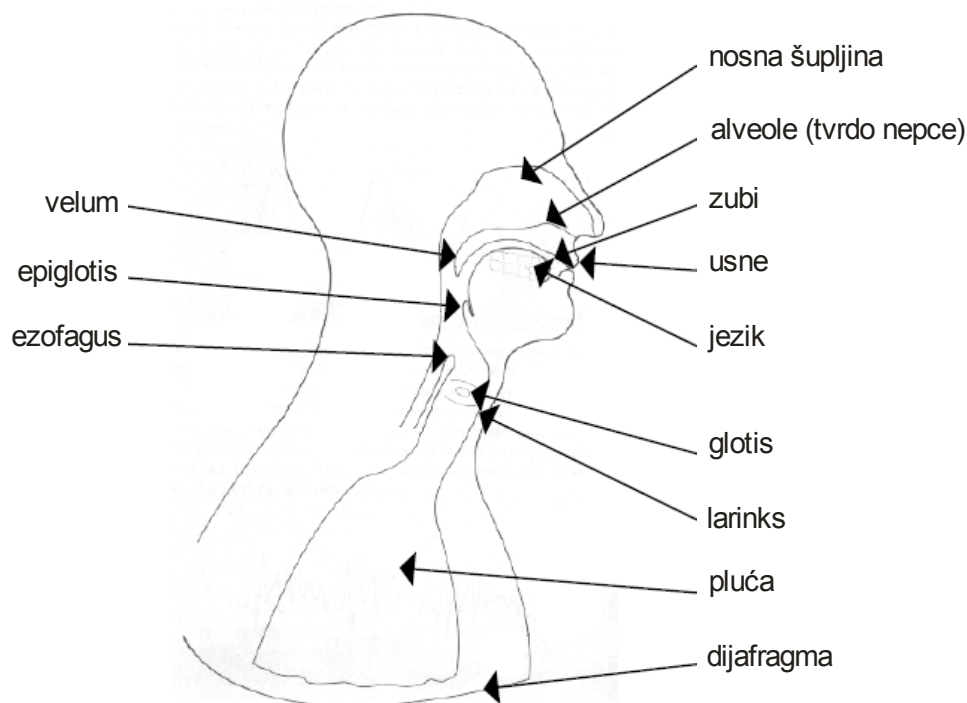
- modulaciju glasnicama
- modulaciju trenjem (frikcijska modulacija)
- start-stop modulaciju (okluzija)
- modulaciju rezonantnim šupljinama.

9.1.1. DIŠNI ORGANI

Osim svoje biološke funkcije - disanja, pluća su i izvor govorne energije (to je njihova komunikacijska funkcija). Na akustičkom planu rad pluća određuje intenzitetske karakteristike govora (jači potisak zraka iz pluća, tj. veći tlak manifestirat će se kao veći intenzitet zvuka). Pluća također utječu i na neke vremenske karakteristike govora. Tako npr. mjerenjem maksimalnog vremena fonacije (u prosjeku iznosi oko 25 s) možemo posredno saznati i kakav je vitalni kapacitet pluća (pod uvjetom da su glasnice zdrave). Isto tako isprekidanost rečenice u govoru može ukazati na nepravilnosti u disanju. No stvaranje zračne struje nije dovoljno za govor. Da bi se pojavili zvučni efekti tj. oralno-glasovni govor, zračnu je struju potrebno modulirati s dovoljno brzim promjenama da bi one postale čujne.

Respiracija (disanje) je osnovna biološka funkcija čovjeka, a u njezinoj realizaciji sudjeluju

pluća kojima je disanje primarna funkcija. Pluća su izvor govorne energije, to im je komunikacijska funkcija. Respiratorni trakt proteže se od usta i nosa pa do alveola u plućima. Anatomski i funkcionalno može se podijeliti na gornji i donji respiratorni trakt. Gornji respiratorni trakt tvore nazalna i oralna šupljina te farinks i larinks. Ovaj dio respiratornog trakta sudjeluje i u procesu hranjenja (mastikacija – žvakanje i deglutacija – gutanje) i govora (artikulacije, fonacije i rezonancije). Donji respiratorni trakt (traheobronhijalno stablo) sastoji se od traheje, dva bronha i pluća (koja sadrže bronhiole i alveole). Ovaj dio trakta namijenjen je prvenstveno respiraciji (biološka funkcija održavanja života) te produkciji govora. Shematski, respiratorni trakt možemo prikazati u obliku slova "F". Dva paralelna ulaza u trakt (dva kraka slova "F") predstavljaju nosni i oralni ulaz koja se niže spajaju u jedan zajednički trakt (vertikalni dio slova "F"). U nosu (nazalna šupljina) udahnuti se zrak zagrijava i navlaži te zatim odlazi u pluća. Stražnji dio nazalne šupljine (nazofarinks) odvojen je od orofarinksa koji se nalazi ispod mišićne pregrade koja se naziva velofaringealna pregrada. Drugi ulaz u respiratorni trakt je kroz usta. Ovim putem zrak ulazi u kroz oralnu šupljinu te nastavlja put preko orofarinksa ka plućima. U orofarinksu respiratorni se trakt spušta kroz laringo-faringealno područje larinksa. Spuštanje se nastavlja kroz larinks, prolazeći između ventrikularnih nabora (lažnih glasnica), kroz laringealne ventrikule te otvoreni prostor između razmaknutih glasnica prema traheji. Traheja se grana na dva bronha koji ulaze u pluća u kojima se nalaze bronhiole koje završavaju manjim vrećicama alveolama.



Slika 58. Vokalni trakt

Pluća su smještena u torakalnoj šupljini koja je omeđena s dvanaest pari rebara koje sa ledne strane podržava vertebralna kolumna (kičma) a sprijeda sternum. Zbog membranoznih veza (pleura) pluća se šire i skupljaju kao jedinstvena cjelina. Torakalna šupljina može se širiti ili skupljati. Zbog karakterističnog načina povezanosti rebara s kičmom moguće je podizanje i spuštanje rebara čime se mijenja volumen transverzalnih dimenzija i anteriorno-posteriornih dimenzija torakalne šupljine. Longitudinalna dimenzija se povećava spuštanjem dijafragme odnosno smanjuje njenim podizanjem. Povećanje ili smanjenje volumena torakalne šupljine mijenja i volumen pluća. ove su promjene proporcionalne trenutnoj količini i pritisku zraka koji se nalazi u plućima. Povećani volumen zraka u plućima stvara povećani tlak u odnosu na atmosferski tlak dok povećani volumen pluća stvara niži tlak zraka u plućima. Kod povećanog volumena pluća razlike u zračnom tlaku uzrokuju ulaznu navalu zraka (inspiracija) dok pad plućnog volumena rezultira povećanjem zračnog pritiska u plućima i njegov izlazak prema van (ekspiracija).

Na akustičkom planu rad pluća određuje intenzitetske karakteristike govora (jači potisak zraka iz pluća, tj. veći tlak manifestirat će se većim intenzitetom zvuka). Pluća također utječu i na neke vremenske karakteristike govora. Tako npr. mjerenjem maksimalnog fonacijskog vremena možemo posredno saznati kakav je vitalni kapacitet pluća. Isto tako isprekidanost rečenice u govoru (pojava neuobičajenih pauzi) može ukazati na nepravilnosti u disanju.

Najranija teorijska studija o respiratornoj funkciji u govoru potiče od Alexander Graham Bell-a (knjiga "Mehanism of speech", 1907, prema Kent, Atal i Miller, 1991). Iako je u povijesti Bell postao mnogo poznatiji po izumu telefona i drugih elektroakustičkih naprava, on je bio i eminentan fonetičar. Bell je pretpostavljao da je uloga respiracijskoga sustava osiguranje kontinuiranoga tlaka zraka koji će omogućiti proizvodnju govora. To je usporedio s mijehom na crkvenim orguljama. Mijeh (respiratorni sustav) dovodi zrak pod pritiskom na pisak orgulja (glasnice) koji svojim titranjem pobuđuje rezonancijsku cijev (vokalni trakt).

Drugi, također poznati fonetičar, Raymond H. Stetson je u svom radu "Motor Phonetics" (1928, prema Draper, Ladefoged i Whitteridge, 1959), pokušao objasniti vezu respiracije i govora na drugačiji način od Bell-a. On polazi od pretpostavke da je slog, kao temeljna jedinica govora, povezan sa pulsiranjem zračnog vala. Smatrao je da svaki slog iniciran pulsiranjem interkostalnih (međurebrenih) mišića prsnoga koša sadrži dva udara: prvi, koji otpušta i drugi, koji zaustavlja zračnu struju.

Ove dvije različite koncepcije respiracijske funkcije u govoru potakle su brojna aerodinamička, mehanička i elektromiografska istraživanja govornoga disanja. One nisu međusobno isključive, već se nadopunjavaju i pridonose boljem razumijevanju govornoga disanja. Govorno disanje opskrbljuje govorni aparat kontinuiranim zračnim valom kroz dovoljno dugo vremensko razdoblje

potrebno za određeni govorni iskaz, npr. rečenicu. Istovremeno postoji sposobnost brzih, pulsirajućih promjena tlaka zraka, zavisnih o samom govoru. Bell-ova je teorija primjenjiva na dugotrajni segment (long-term) govornog iskaza (na razini rečenice), a Stetson-ovo je mišljenje potvrđeno kasnijim istraživanjima kratkotrajnih segmenata (short-term) na razini sloga i riječi.

Istraživanja su pokazala da govorni zračni tlak, koji je otprilike jednak subglotičkom (zračnom tlaku u plućnim alveolama), nastaje koordinacijom aktivnog (mišićnoga) i pasivnog (elastičnog) naprezanja. Aktivno mišićno naprezanje nastaje kontrakcijom respiratorne muskulature, posebno muskulature abdomena, dijafragme i prsnoga koša. Pasivno se naprezanje odnosi na osobinu elastičnosti respiratornoga sustava da se nakon aktivnoga naprezanja ponovo vraća u početni, stabilni položaj. Ovo povratno svojstvo respiratornoga sustava možemo usporediti s balonom koji se prilikom ispuštanja zraka vraća u svoj prvobitni položaj.

Sudjelovanje aktivnog i pasivnog naprezanja respiratornoga sustava temeljni je problem u istraživanjima govornoga disanja. Među ranijim, značajnijim istraživanjima, svakako treba spomenuti eksperiment koji su proveli Draper, Ladefoged i Whitteridge (1959). Oni su vršili određena akustička i EMG mjerenja, te promatrali odnose između nekih akustičkih karakteristika govora i fizioloških varijabli (aktivnost respiratorne muskulature, popratne promjene tlaka i volumena zraka u plućima). Izvijestili su da se aktivno naprezanje respiratornoga sustava smanjuje uvijek s pojavom govora kada se uključuje pasivno povratno naprezanje. Drugi značajan zaključak bio je da su za vrijeme govorne ekspiracije bili aktivni samo interkostalni mišići, dok su abdominalni bili pasivni. Abdominalni mišići aktivirali bi se samo kod jako glasnoga govora, ili pri samom kraju govornoga iskaza.

Značajna istraživanja govorne respiracije proveli su i Hixon, Goldman i Mead (1973), te Hixon, Mead i Goldman (1976). U svojim su istraživanjima potvrdili da mišići aktivno sudjeluju tijekom cijelog govornog respiracijskog ciklusa. Oni su utvrdili da su i abdominalni mišići također važni za govor. Ti mišići aktiviraju se tijekom dužeg govornog iskaza mehanički podešavajući dijafragmu za naredni inspirij, te se time kod udaha zraka minimalno prekida kontinuitet govora.

9.1.1.1. VRSTE DISANJA

Osnovna podjela disanja datira još iz 16.st. kada je kirurg i profesor anatomije u Padovi, Fabritius d'Aquapendente u svom djelu "Opera Anatomica" opisao dvije vrste disanja (prema Kovačić, 1997): statično ili vitalno i dinamično ili fonacijsko.

Statično ili vitalno disanje danas je poznato kao mirno, biološko ili vegetativno disanje dok se dinamično ili fonacijsko disanje može promatrati kao govorno i pjevačko (Kovačić, 1997).

Govorno ili komunikacijsko disanje se uči. S druge strane, ono ovisi o anatomskoj i

neuromuskularnoj maturaciji mehanizama uključenih u ovaj proces. Omjer trajanja udaha i izdisaja ide u omjeru i do 1 prema 9 (10% udisaj i 90% vremena otpada na izdisaj). Uдах je uglavnom brz, a izdisaj traje 2,5 - 4,5 sekunde, ali može trajati i do 15 sekundi. Udiše se i izdiše oko 1 litra zraka oko 8 puta u minuti (Kovačić, 1997).

9.1.2. ORGANI ZA GLASANJE

Organe za glasanje čine grkljan (larinks) s glasnicama i bočnim mišićima. Larinks, generator glasa, smješten je na prolaznom putu strujanja zraka prema plućima i iz pluća i nalazi se u prednjem gornjem dijelu vrata (u visini od trećeg do šestog cervikalnog pršljena), na granici dišnog i probavnog trakta. Larinks ima oblik cijevi dugačke 6 cm koja u visini šestog cervikalnog pršljena prelazi u dušnik. Sastoji se od 9 hrskavica (3 parne i 3 neparne) te unutarnjih i vanjskih laringealnih mišića. Glavne su hrskavice krikoidna, tiroidna i aritenoidna hrskavica. Najveća je tiroidna ili štitna hrskavica. Sastoji se od dviju ploča koje se sprijeda sastaju pod kutom od 120 stupnjeva u žena, odnosno pod približno pravim kutom u muškaraca. Taj tiroidni kut lako je uočljiv u muškaraca (Adamova jabučica). Krikoidna ili prstenasta hrskavica nalazi se na vrhu dušnika, a ispod štitne i s njom je u zglobnom spoju. Aritenoidne ili vokalne hrskavice su par hrskavica u obliku trostrane piramide. Smještene su na stražnjoj strani prstenaste hrskavice.

Iznad ulaza u larinks nalazi se još jedna laringealna hrskavica – epiglotis koji sudjeluje u fonaciji jer se prilikom foniranja diže kako bi zračna struja mogla nesmetano prolaziti iz kroz larinks. Epiglotis ima i zaštitnu funkciju pri gutanju jer se spušta kako ne bi došlo do aspiracije hrane. Funkcija glotisa ne smatra se važnom u generiranju glasa, ali mijenjanjem svog položaja utječe na veličinu i oblik ždrijelne rezonantne šupljine.

Respiracijska funkcija larinksa je i najznačajnija jer omogućava prolaz zraka tijekom disanja osim toga ima i funkciju prilikom gutanja i fonacijsku funkciju.

9.1.2.1. GLASNICE

Osnovni dio larinksa čine glasnice i njihovim treperenjem (fonacijom) nastaje glas (Škarić, 1991). Građene su od vezivnog i mišićnog tkiva, ligamenta i prekrivene su sluznicom. Glasnice su bijele boje za razliku od ostalog laringealnog tkiva koje je blijedo – ružičaste boje. Pri rođenju glasnice su duge 2,5 – 3 mm, kod žena 11 – 15 mm, kod muškaraca 17 – 21 mm (Hirano, Kurita, Nakashima, 1983, prema Kovačić 1997). Za vrijeme mirnog disanja glasnice su u abdukciji, tj. razmaknute su kako bi između njih mogao prolaziti zrak, dok su tijekom glasanja u addukciji, tj. skupljaju se (naizmjenično otvaranje i zatvaranje).

Prostor između glasnica zove se glotis (rima glottidis). To je otvor koja se može podijeliti na dva

dijela: intermembranozni dio i interkartilaginozni dio koji se nalazi između aritenoida. Intermembranozni dio sačinjavaju membranozne usne (*labia vocalis*) koje se sastoje od nabora sluznice (*plicae vocalis*), ligamenta (*ligamentum vocale*) i mišića (*musculus vocalis*). Otvor glotisa najveći je pri mirnom disanju kad zračna struja slobodno prolazi larinksom. Tada mu je dužina u rasponu od 19 mm do 23 mm (Holin, prema Heðever, Kovačić, 1997). Pri fonaciji je zatvoren duž cijele medijalne linije, tj. ritmički se brže ili sporije otvara i zatvara a svaka se glasnica odmiče se do 4mm od medijalne linije (Gjuranec, 1988, prema Heðever, Kovačić, 1997).

Iznad pravih glasnica nalaze se tzv. lažne glasnice ili ventrikularni nabori (*plicae ventriculares*) koje mogu preuzeti funkciju fonacije uslijed disfunkcije pravih glasnica. Glas proizveden ventrikularnim naborima je neugodan – dubok, hrapav i slab (Škarić, 1991).

9.1.2.1.1. Osnovni laringealni ton

Osnovni laringealni ton je zvuk koji nastaje titranjem glasnica u larinksu. To je zvuk bez boje i malog intenziteta a svoju glasnoću i boju dobiva prolaskom (filtriranjem) kroz rezonantne šupljine vokalnog trakta. Osnovni ton se ne čuje u govoru ali zato njegovi viši harmonici dobivaju konačnu glasnoću zahvaljujući rezonanciji u vokalnom traktu. Ako se iz spektra ukloni osnovni ton, glas će se i dalje čuti i naziva se rezidualnim tonom. Svakodnevni primjer ove pojave je uporaba telefona koji ne prenosi područje frekvencija nižih od 300 Hz unutar kojeg su smješteni upravo osnovni tonovi ljudskih glasova, a mi, ipak prepoznajemo sugovornika po boji njegova glasa.

Titze i Talkin (1979) temeljem svojih istraživanja navode nekoliko zaključaka:

- Fundamentalna frekvencija laringealnoga tona ovisi o veličini larinksa, posebice o dužini glasnica, zatim o širini larinksa (lateralne aritenoidne hrskavice), i samo djelomično, o debljini glasnica;
- Kod određene veličine larinksa, fundamentalna je frekvencija prije svega kontrolirana uzdužnom (longitudinalnom) napetošću mišićnih vlakana glasnica. Subglotičkim se tlakom zraka dodatno kontrolira frekvencijska visina, a varijacije dužine glasnica, simultano dovode do promjena napetosti tkiva;
- Intenzitet osnovnoga tona ponajprije ovisi o veličini larinksa, odnosno dužini glasnica;
- Kod određenog će larinksa povećanje subglotičkoga tlaka i širenje glasnica, povećati intenzitet osnovnoga tona, dok će povećanje napetosti tkiva uglavnom smanjiti intenzitet;
- Konačni intenzitet zvuka na izlasku iz usne šupljine, u osnovi će biti proporcionalan dužini glasnica, no subglotički je tlak najbolji parametar za konačni intenzitet zvuka;
- Konačna akustička snaga i učinkovitost fonacije može se povećati mnogobrojnim konfiguracijskim oblicima cjelokupnoga govornoga trakta i optimalnom napetošću tkiva.

9.1.2.2. AKUSTIKA FONACIJE

Glas nastaje u larinksu (grkljanu). Izvor glasa su glasnice koji pod određenim okolnostima zbog prolaska zračne struje počinju titrati. Fonacija je proces produkcije glasa u larinksu, odnosno

aktivnost koja na specifične načine modulira zračnu struju, što prolazi larinksom i tijekom ekspirija koji je modificiran larigealnim vibracijama generira glas. Brzina vibracija (frekvencija) zavisi od mase (debljine), dužine, elasticiteta i napetosti glasnica.

Postoji nekoliko teorija koje objašnjavaju aktivnost glasnica. Danas se prema mioelastično-aerodinamičkoj teoriji smatra da titranje glasnica izravno ovisi o kortikalnoj kontroli, a ne o interakciji aerodinamičke energije (zračne struje), napetosti i duljini glasnica. Vibracije glasnica rezultat su interakcije aerodinamičke energije generirane u subglotičkom dijelu dišnog sustava i mioelastične energije glasnica koje su kortikalno pripremljene. Suvremeni pristup problemu i razumijevanju procesa fonacije, odnosno načina vibriranja glasnica, započeo je s vrlo plodonosnim radovima Van de Berg-a, Zantema-e i Doornenbal-a (1957), te Van de Berg-a (1958). Spomenuti autori objašnjavaju fonaciju aerodinamičkim i mioelastičnim faktorima. Ove teorije, odnosno modeli vibracije glasnica, uzimaju u obzir aerodinamičke i biomehaničke sile, kojima se objašnjavaju različiti tipovi fonacije. Oni su rezultat mišićne djelatnosti koja usklađuje respiraciju i fonaciju.

Značajnom napretku u razumijevanju fonacije pridonijeli su Ishizaka i Flanagan (1972). Oni su opisali dvodijelni model vibracije glasnica, kao dva odvojena dijela povezana elastičnim tkivom, koji se sastoji od gornjeg i donjeg dijela svake glasnice. Otpor glotisa dovodi do povećanja subglotičkog pritiska ekspiratornog zraka. Kada pritisak nadvlada otpor glasnica, glasnice se otvaraju propuštajući zračnu struju iz larinksa. Tako dolazi do pada pritiska, a glasnice se vraćaju u početni položaj i ciklus se ponavlja. Ovaj model objašnjava kako aerodinamičke sile, nastale od subglotičkoga tlaka i zračnoga vala usmjerene kroz glotis, sekvencionirane elastičnim silama glasnica (Bernoulijev efekt), dovode do kontinuiranih vibracija glasnica. Rezultat je brzo zatvaranje donjih rubova glasnica prije nego što se gornji rubovi u potpunosti otvore. Bernulijeva snaga ("vakuum") nastaje kao rezultat povećanja brzine prolaska zraka koji prolazi kroz uski glotalni tijesnac, tako smanjujući zračni pritisak između glasnica i inducirajući glotalno zatvaranje. Zatvarajuća sila unutrašnjih laringealnih mišića i elastična svojstva gornjih rubova glasnica, zajedno sa gubitkom pritiska nakon što udar zraka pređe iznad glotisa, rezultiraju zatvaranjem gornjeg ruba glasnica kako bi se završio glotalni ciklus. Ovim se modelom mogu objasniti i neke druge pojave kod vibracija kao što je npr. "vertikalni val", kada se tijekom jedne vibracije unutrašnji rubovi glasnica ne priljubljuju istovremeno cijelom dužinom, već se taj dodir širi odozdo prema gore.

Modulacija glasnicama stvara zvuk koji ima karakteristike linijskog frekvencijskog spektra, odnosno harmoničnoga zvuka. Ovaj zvuk koji nastaje treperenjem glasnica zove se glas, a generiranje tog zvuka zove se glasanje (fonacija). Njime se proizvode svi samoglasnici (vokali) u govoru. Titranje je približno trokutastog valnog oblika, a na temelju jedne periode (jedan puni titraj)

možemo vrlo točno izračunati frekvenciju osnovnog laringealnog tona – F0 (sinonimi su: “pitch”, fundamentalka, osnovni glas, nulti harmonik). Analiziranjem valnog oblika možemo također odrediti vrijeme otvaranja glasnica (tot) prema ukupnom vremenu periode (tuk). Odnos vremena otvaranja glasnica prema jednoj periodi varira u rasponu: tot/tuk= 0.3-0.7.

Fonacijom se generiraju svi samoglasnici (vokali) u govoru, a prisutna je i kod svih zvučnih konsonanata. Glas nastaje u larinksu (grkljanu). Izvor glasa su glasnice koje pod određenim okolnostima, zbog prolaska zračnoga vala, počinju titrati. Modulacija glasnicama stvara zvuk koji ima obilježja linijskoga frekvencijskoga spektra, odnosno harmoničnoga zvuka. Titranje je približno trokutastog valnog oblika, a na temelju jedne periode (jedan puni titraj) može se vrlo točno izračunati frekvencija osnovnog laringealnog tona – F0.

Fonacija je vrlo složena funkcija koja zahtijeva sinkronu i koordiniranu suradnju velikog broja raznih mišića. Govor uključuje najmanje 100 mišića, pa je za pretpostaviti da isto vrijedi i za fonaciju. Zapravo, niti jedna druga čovječja funkcija ne angažira toliki broj mišića.

Veliki doprinos u akustičkoj analizi fonacije dao je Rothenberg (1973), uvodeći novu tehniku tzv. "inverznog filtriranja" (kepstar). Ova tehnika omogućuje da se iz zvuka koji se širi iz usta eliminiraju učinci rezonancije govornoga trakta, a dobiveni zvučni signal odgovara izvornom zvuku na razini glotisa ("glotogram"). Gauffin i Sundberg (1989) primijenili su također tehniku inverznog filtriranja da bi odredili odnose između spektralnih i amplitudnih karakteristika samoglasnika na glotogramu. Ispitivanje su proveli na skupinama pjevača i ne-pjevača, a rezultati mogu biti korisni za upotpunjavanje slike o fiziološkim, percepcijskim i akustičkim karakteristikama fonacije, kako na području govora i pjevanja, tako i na području govorne patologije.

9.1.3. IZGOVORNI ORGANI

Govorni trakt možemo smatrati akustičkom tubom koju možemo usporediti s cijevi dužine između 15 i 19 cm (dijete od 8 god: 10 cm; žena: 13 cm; muškarac: 17 cm; veći muškarac: do 19 cm). Ton generiran u glasnicama širi se u obliku longitudinalnog vala (to je val koji putuje samo u smjeru širenja zvuka i javlja se samo u plinovitim tvarima za razliku od transverzalnih valova koji se šire okomito na smjer širenja zvuka i javljaju se u krutim tijelima). Na otvorenim krajevima tube javljaju se reflektirani valovi uslijed promjene sredstva unutar i izvan tube. Interferencijom longitudinalnog i reflektiranog vala nastaju stojni valovi koji su cjelobrojni višekratnici osnovnog longitudinalnog vala. Ako je tuba otvorena na jednom kraju, a na drugom zatvorena, tada se javljaju samo neparni harmonici, a ako je tuba otvorena na oba kraja tada se javljaju i parni i neparni harmonici (u muzici će ton zatvorene svirale - s neparnim harmonicima biti za oktavu niži od tona otvorene svirale koja ima jednaku duljinu kao i zatvorena, a osim toga svirale će se razlikovati i po

boji zvuka). Dakle, vokalni trakt možemo smatrati akustičkom tubom otvorenom na oba kraja.

9.1.3.1. REZONANTNE ŠUPLJINE VOKALNOG TRAKTA

9.1.3.1.1. Ždrijelna (faringealna) šupljina

Ždrijelo ili farinks je mišićna cijev, iznutra obložena sluznicom, koju čine tri dijela - nazofarinks, orofarinks i laringofarinks (hipofarinks). Nalazi se iznad grkljana i iza usne šupljine. Muskulatura ždrijela vrlo je pokretljiva što omogućuje znatne promjene oblika, volumena i napetosti ovog rezonatora. Važan organ koji bitno utječe na spomenute promjene je jezik (njegova baza) te položaj larinksa. Povišenjem larinksa smanjuje se volumen ždrijelne šupljine, dakle, orofaringealnog rezonantnog prostora, i obratno.

9.1.3.1.2. Usna (oralna) šupljina

Ovo je najvažniji rezonator i obuhvaća prostor od prednjih zuba do ždrijelnih vrata te prednjih i stražnjih ždrijelnih lukova. Usna šupljina obložena je sluznicom koja je bitan čimbenik u fonaciji. Ovaj rezonator može postići najveće promjene oblika i volumena ovisno o položaju jezika, mekog nepca i, naravno, čitavog spleta mišića.

9.1.3.1.3. Nosna (nazalna) šupljina

Isto kao i usta, i nos je organ čija prvobitna uloga nije vokalno ponašanje. Veličina ovog rezonatora je stalna pa se njegov učinak uglavnom i ne mijenja. Izuzetak su patološka stanja poput začepjenosti nosa i dr. Učešće nosnog rezonatora ovisi o položaju mekog nepca pa ako je ono spušteno, nosna rezonantna šupljina dolazi do većeg izražaja što rezultira prigušenim i tamnim zvukom. Ovo prigušenje najviše zahvaća zvukove između 600 i 1500 Hz. Otvor nosne šupljine zapravo znači njeno dodavanje usnoj koje zajedno čine veći prostor niskih rezonantnih frekvencija i to između 200 i 400 Hz (Škarić, 1991).

Razlog zbog kojeg se navodi uloga navedena tri rezonatora je stoga što je njihova uloga najbitnija, ali i najjasnija. Ostale strukture koje sudjeluju u rezonanciji, a kojima neki autori dijelom i niječu ulogu rezonatora jesu subglotalne strukture - trahea, bronhiji, pluća, prsni koš te supraglotalne strukture - grkljan (epiglotis, štitna hrskavica, Morgagnijeve šupljine...), jezik, meko nepce, paranazalni sinusi i dr. Kao što se vidi, neke od navedenih struktura zapravo su dio rezonatora ili utječu na promjene istih, ali same po sebi nisu rezonatori.

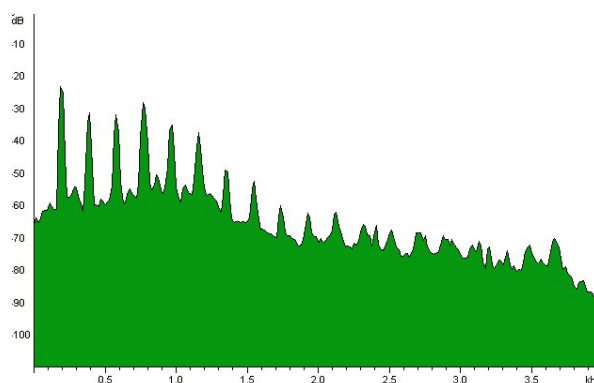
9.2. SPEKTAR GOVORA

Spektar je dvodimenzionalan i prikazuje zvučni signal u dvije dimenzije: frekvenciju (X os) i amplitudu (Y os). Spektralna analiza zvuka je postupak kojim se složeni zvučni val razlaže na

njegove sastavne frekvencije. Ulazni parametri spektralne analize su amplitude zvuka u vremenu, a izlazni – raspodjela frekvencija u određenom frekvencijskom pojasu u vremenu. Spektralnu analizu možemo najjednostavnije shvatiti tako da se svaki složeni zvuk sastoji od pojedinačnih zvukova različitih frekvencija i amplituda.

9.2.1. FFT SPEKTAR

Danas je spektralna analiza zvuka dostupna kroz niz računalnih programa i od velike je koristi u akustičkoj analizi glasa i govora. PC računala mogu izvesti stotine milijuna računskih operacija u sekundi pa je moguće izvesti tako složeni račun, kao što je računanje spektralne analize u realnom vremenu. Razvojem računalne tehnologije za računanje spektralne analize koristi se algoritam koji se naziva brza Fourierova transformacija (Fast Fourier Transform - FFT). Za to je zaslužan francuski fizičar i matematičar Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830). On je u svome djelu "Théorie analytique de la chaleur" (Analitička teorija topline) objavljenom 1822. godine objasnio da se bilo koja periodična funkcija (to može biti i zvuk) može aproksimirati trigonometrijskim polinomom – tzv. Fourierovim redom. Taj postupak se naziva Fourierovom ili harmonijskom (spektralnom) analizom. Iz Fourierove jednadžbe u 20. stoljeću izveden je FFT algoritam. Rezultat brze Fourierove transformacije je skup kompleksnih brojeva. Da bi se iz takvog prikaza prešlo u prikaz pogodan za prikaz spektralne analizu, upotrebljava se tzv. **power spectrum** algoritam. Pri konverziji u oblik u kojemu je domena frekvencija, power spectrum algoritam predstavlja frekvenciju kao redni broj kompleksnog broja u skupu, a elongaciju kao zbroj kvadrata realnog i imaginarnog dijela kompleksnog broja. Maksimalan frekvencijski opseg spektralne analize osnovane na FFT metodi je jednak polovici frekvencije uzorkovanja (sampling rate).

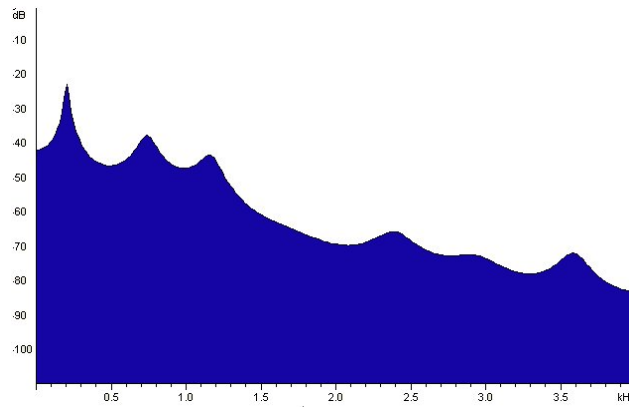


Slika 59. FFT spektralni prikaz ljudskog glasa (fonacija vokala /A/)

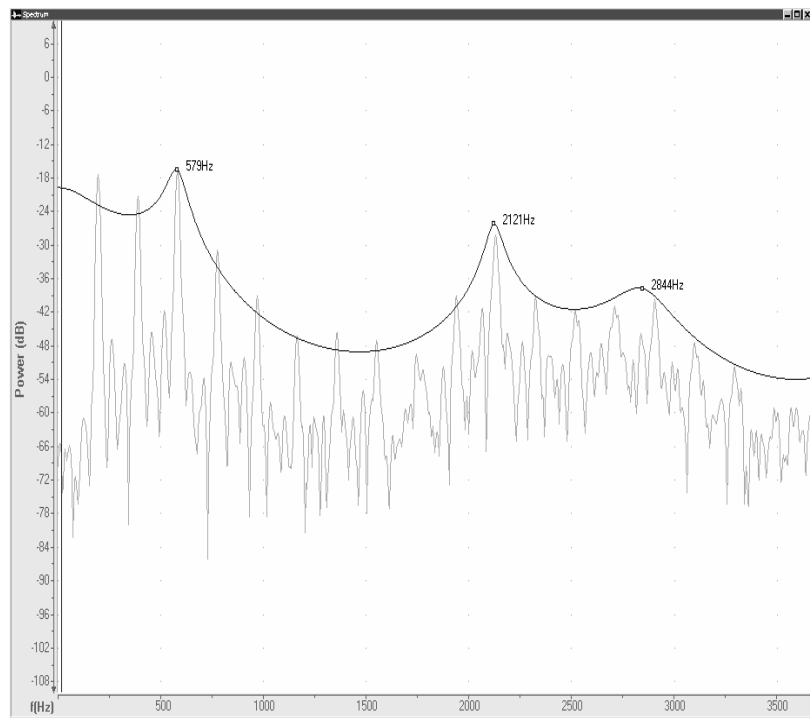
9.2.2. LPC SPEKTAR

LPC (Linear Predictive Coding) spektralni prikaz dobiva se iz FFT- analize izračunavanjem prosječnih vrijednosti. Takvim uprosječavanjem FFT spektralni prikaz postaje "izglačan", eliminiraju harmonici (više

nisu istaknuti) a veće nakupine pojačanih harmonika tvore formante koji postaju vidljivi.



Slika 60. LPC spektar ljudskog glasa (fonacija vokala /A/ iz prethodnog primjera)



Slika 61. LPC spektar izračunava se iz FFT spektra

9.2.3. SREDNJI DUGOTRAJNI SPEKTAR (LTASS)

Srednji dugotrajni spektar (LTASS - Long Term Average Speech Spectrum) dobiva se izračunavanjem srednjih vrijednosti FFT spektra na vremenskom uzorku govora od cca. 2 minute. Koristan je u usporedbi karakteristika govora različitih govornika. Iz njega možemo dobiti podatke o nekim govornim poremećajima (npr. sigmatizmu, poremećaju nazalnosti...) te nekim općim karakteristikama glasa i govora (npr. boja glasa, prisutnost šuma u glasu i sl.).

Da bismo mogli uspoređivati karakteristike govora različitih govornika potrebno je koristiti isti govorni tekst kod svih ispitanika (najbolje da ga ispitanici pročitaju). Pri odabiru teksta treba voditi računa da u tekstu bude ujednačena zastupljenost svih glasova kao i u svakodnevnom govoru.

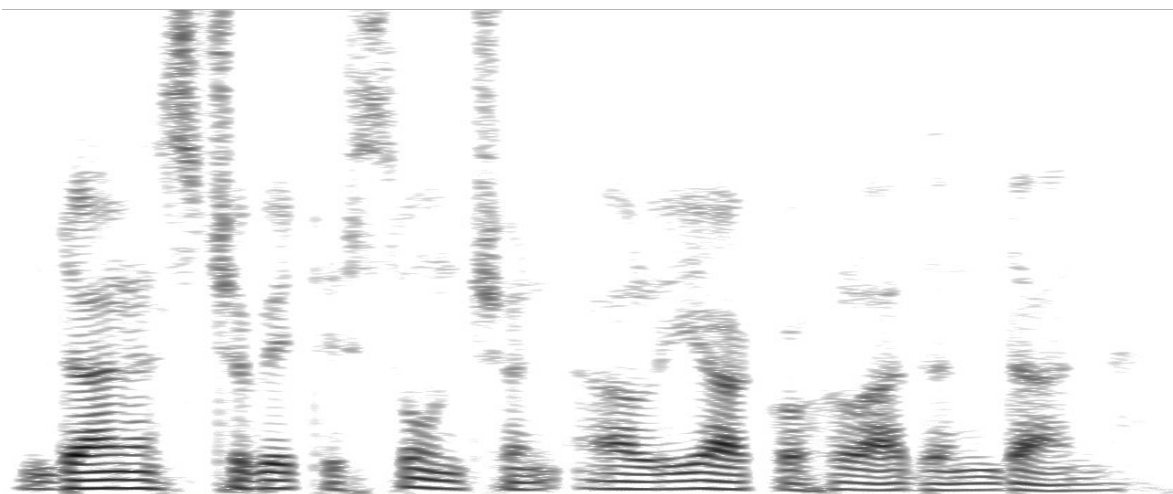
Na slici 43. prikazana su dva srednja dugotrajna spektra (plava ploha je jedan a crvena linija drugi spektar) koji prikazuju preklapanje dvije liste različitih riječi koje su korištene u jednom testu za ispitivanje poremećaja slušnog procesiranja (jedna lista služi za ispitivanje lijevog a druga za ispitivanje desnog uha). Iako su riječi u listama različite (ne smiju biti iste jer bi u drugom testiranju ispitanik lakše prepoznao riječ koju je već čuo) postignuto je jako dobro preklapanje oba spektra što znači da su obje liste fonetski i frekvencijski dobro ujednačene.



Slika 62. LTASS (Long Tterm Average Speech Spectrum)

9.2.4. SPEKTROGRAM GOVORA

Naziva se još i sonogram. Prikazuje zvučni signal u tri dimenzije: vrijeme (x os) frekvencija (y os) i amplitudi (z os).



Slika 63. Sonogram (spektrogram) govora

9.3. REZONANCIJA I FORMANTI

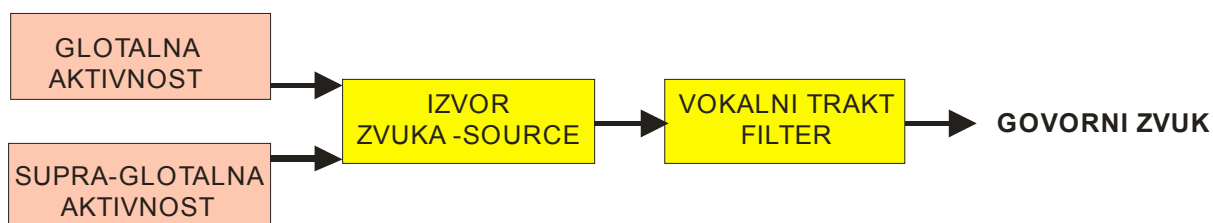
Osim udjela respiracije i fonacije, konačni akustički oblik govornoga signala značajno ovisi i o konfiguraciji cjelokupnoga vokalnog trakta. Temeljni je problem akustičke teorije o govornoj produkciji kako razlučiti govorni signal od elemenata koji su rezultat vokalnog trakta, i suprotno, kako predvidjeti utjecaj rezonatora vokalnog trakta na određeni govorni signal (Fant, 1980).

Suvremena znanost o govoru pokušava objasniti govorni zvuk kao seriju akustičkih signala koji su podložni filtriranju rezonantnih šupljina (svaka pojava rezonancije ili antirezonancije djeluje na zvučni signal kao akustički filter). Ovo je tumačenje poznato kao "Linear source-filter theory", a prema toj teoriji može se objasniti i akustička modifikacija laringealnoga zvuka, gdje se jednostavni spektar laringealnoga osnovnog tona, uslijed prijenosne funkcije vokalnog trakta, modificira u spektralni oblik složenog harmoničkog zvuka. Ovu teoriju najbolje je razradio Fant 1960. godine u svojoj knjizi "Acoustic Theory of Speech Production" (prema: Lindblom i Sunberg, 1971).

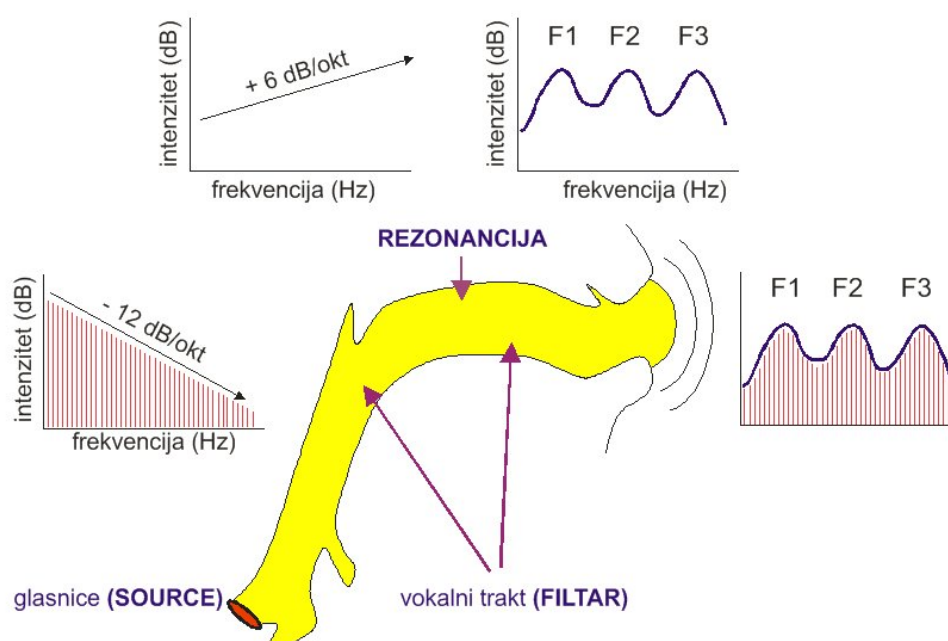
Upravo su se samoglasnici, zbog svojih akustičkih obilježja, pokazali kao najprimjereniji za ovakva istraživanja, u kojima se pokušavao definirati i suziti broj relevantnih akustičkih parametara. Iz akustike je poznato da se vokalni trakt može usporediti s akustičkom tubom čija će akustička impedancija biti jednaka omjeru dužine tube i veličini njenog presjeka. Stevens i House (1955) su za samoglasnike razvili tro-parametarski model vokalskog trakta. Ovaj model zasnovan je na: a) mjestu sužavanja, b) veličini suženog prolaza i c) odnosu otvora usta i dužine vokalnog trakta (akustička impedancija). U skladu s tim, autori su definirali prva tri formanta. Prvi je formant

frekvencijski visok ako postoji uski jezični tjesnac iznad glotisa i veliki neokrugli otvor usta. Formant je nizak ako je usni otvor mali i okrugao ili ako postoji uski jezični tjesnac u blizini usta. Drugi formant u pravilu postaje frekvencijski viši što se mjesto suženja pomiče više od glotisa prema ustima i što se više povećava odnos dužine i presjeka (akustička impedancija) otvora. Povišenje frekvencije drugoga formanta je izrazitije što je jezični tjesnac uži. Treći se formant malo povisuje kad se tjesnac više pomiče od glotisa prema naprijed i kad se više povećava otvorenost usta i zaokruženost presjeka.

9.3.1. SOURCE – FILTER MODEL



Slika 64. Source – Filter Model

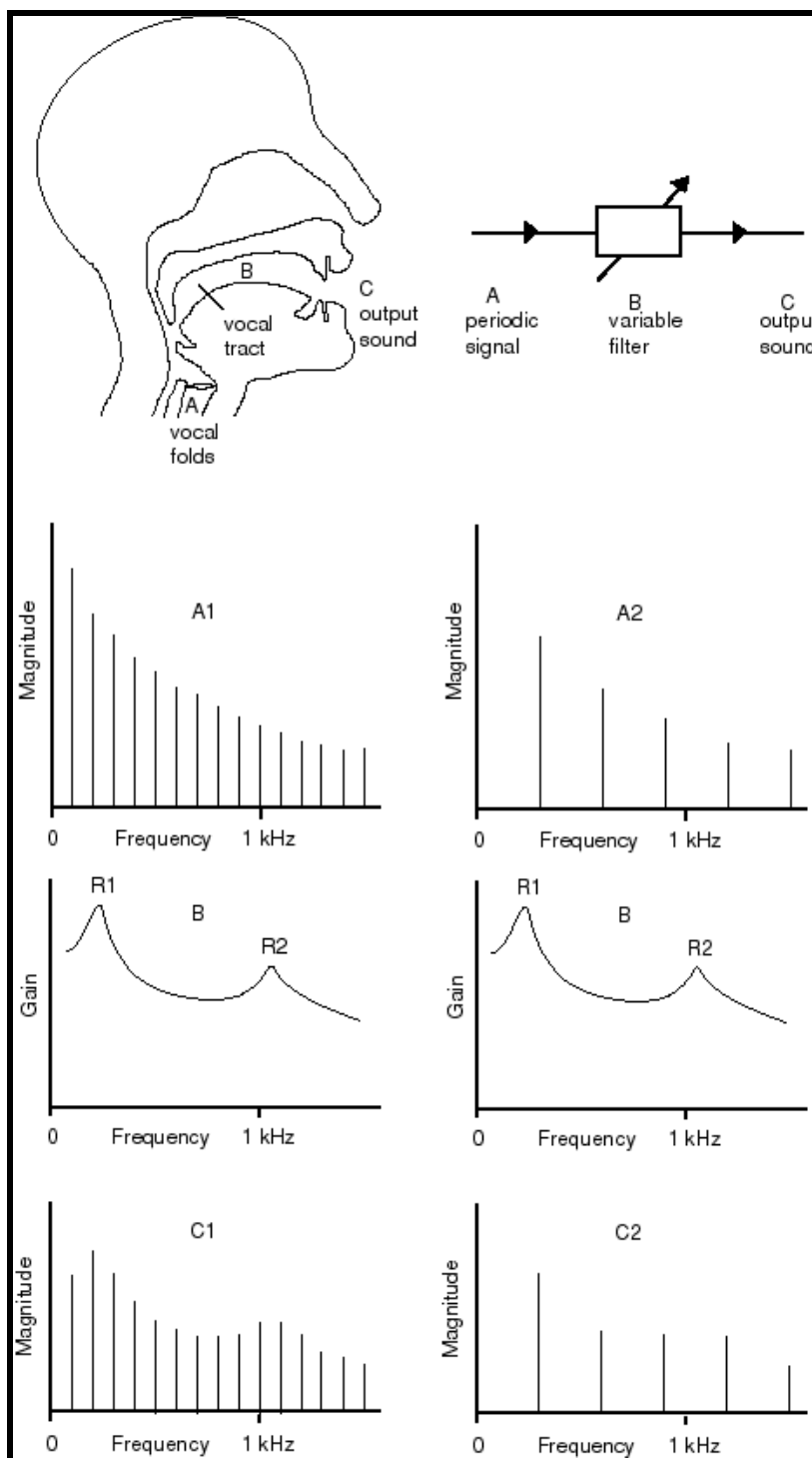


Slika 65. Source – Filter Model primijenjen na vokalni trakt

SOURCE: Zvuk na glasnicama (u larinksu) nastaje na dva načina i sastoji se od dvije komponente:

- aerovibratorna (titranje glasnica koje proizvodi osnovni ton s višim harmonicima)
- aeroturbulentna (šum koji nastaje prolaskom zraka kroz larinks).

FILTAR: Vokalni trakt (koji tvore sve šupljine iznad larinksa) zbog efekta rezonancije (pojačanje ili gušenje) daje konačnu boju i intenzitet zvuka.



Slika 66. Rezonancija muškog i ženskog vokalnog trakta

9.3.2. REZONANCIJA

Rezonancija je osobina krutih tijela i šupljina ispunjenih zrakom koje pod utjecajem zvuka (čistog tona) iz okoline počinju same titrati. Kao rezultat rezonancije u takvom tijelu koje titra (rezonatoru), javit će se frekvencije koje su harmonici izvornoga tona koji je izazvao rezonanciju. Broj i intenzitet pojedinih harmonika ovisit će o frekvenciji izvornoga tona, veličini (volumenu) i obliku rezonatora, kao i o fizikalnim svojstvima materijala od kojega je rezonator sačinjen. Pojava rezonancije koristi se kod većine glazbala, pa se pomoću određenih karakteristika rezonatora dobiva i željena boja zvuka nekog instrumenta. Na isti način šupljine iznad larinksa (spomenimo samo tri veća rezonatora: faringealni, oralni i nazalni rezonator) sudjeluju u stvaranju govornih zvukova. Ovdje se iz laringealnog glasa, pomoću rezonatorskih šupljina, oblikuju vokali.

Glas proizveden u grkljanu širi se kroz rezonantne šupljine (laringealnu, ždrijelnu, nosnu i usnu). Zbog efekta rezonancije govorni zvuk u vokalnom traktu poprima svoju konačnu boju i akustički oblik. Rezonantne karakteristike vokalnog trakta ovise o mnogim faktorima a najviše o njegovoj dužini, presjeku i obliku. Zbog efekta rezonancije zvuk se filtrira u voklanom traktu te će se zbog toga određeni dijelovi spektra pojačavati (formanti) dok će drugi biti prigušeni.

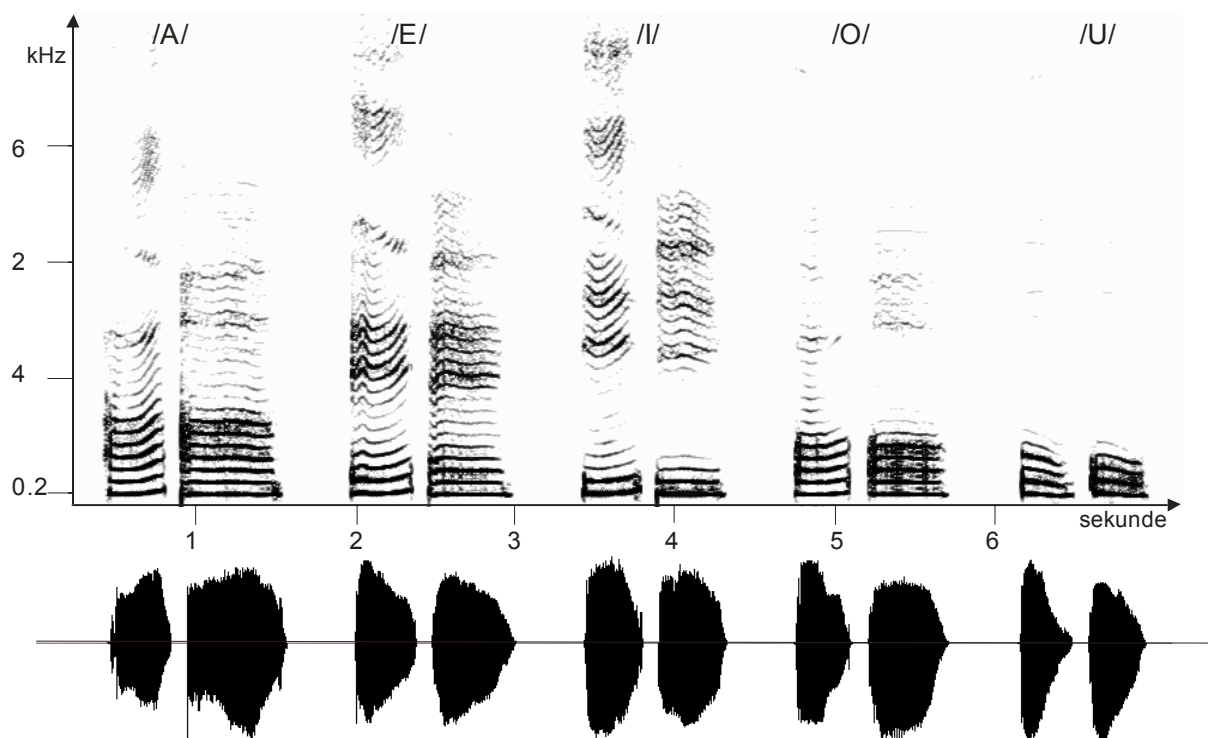
Oblik i veličina ždrijelnog rezonatora zavise od položaja jezika, aktivnosti konstriktora ždrijela, položaja, pokreta i zategnutosti zidova farinksa. Ako je jezik povučen unazad, šupljina ždrijela će se znatno smanjiti i obratno. Za vrijeme normalnog disanja velum je spušten i tada su nazalna i oralna šupljina spojene. Kod svih oralnih glasova velum se podiže i zatvara nazalni prolaz a kod izgovora nazalnih glasova (m, n, nj) velum je spušten pa zračna struja prolazi kroz nosnu šupljinu. Nosna šupljina može utjecati na poremećaj rezonancije (hiper ili hipo nazalnost).

Usna šupljina je najveća pa se u njoj odvijaju i najveće promjene oblika, položaja i veličine rezonatora. Ovo se postiže zahvaljujući strukturi, obliku i pokretljivosti pojedinih govornih organa. Pomični artikulatori: donja vilica, mišići lica, usne, jezik, meko nepce i ždrijelne stijenke mijenjanjem svog položaja prema nepomičnim artikulatorima (gornjoj čeljusti, tvrdom nepcu i zubima) mijenjaju oblik i volumen usne šupljine, stvarajući pregrade ili sužene prolaze te usmjeravaju zrak kroz usnu ili nosnu šupljinu.

9.3.3. HARMONICI

Harmonici se javljaju u svakom složenom harmoničnom zvuku kao cjelobrojni umnošci osnovnog harmonika (fundamentalnog tona) i jasno su vidljivi u svim vokalima kao i u spektru zvuka kojeg proizvodi neki muzički instrument. U ljudskom glasu vidljivo je i do 15 harmonika. Njihova frekvencija je uvijek određena fundamentalnom frekvencijom (npr. ako je osnovni laringealni ton imao 100 Hz, tada će prvi harmonik (H1) imati 200 Hz, drugi H2 - 300 Hz, treći H3

- 400 Hz itd. Pojačane intenzitetske vrijednosti grupiranih harmonika predstavljaju formante a njih možemo najsigurnije očitati pomoću LPC analize.



Slika 67. Dva muška govornika izgovaraju vokale

9.3.4. FORMANTI

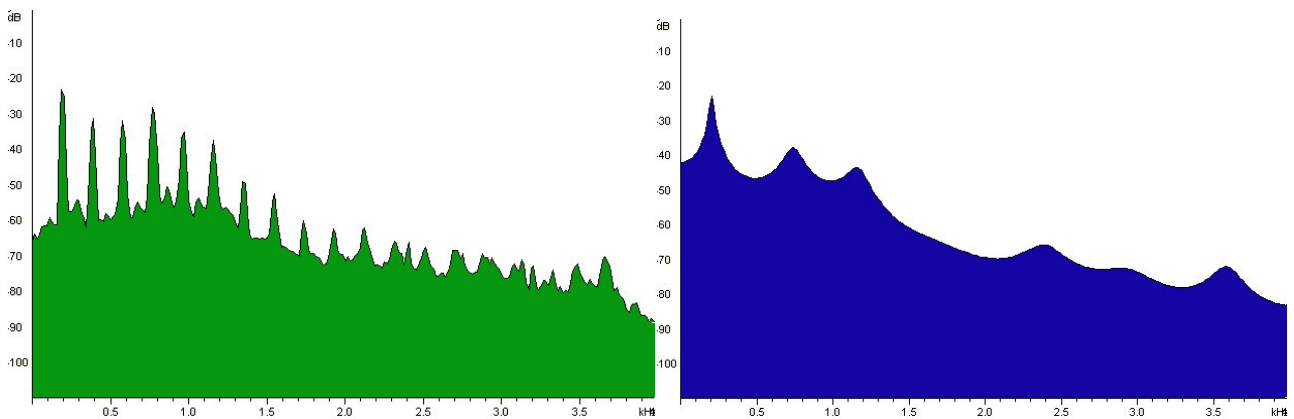
Formanti su intenzitetski naglašeni dijelovi spektra koji su rezultat rezonancije u rezonantnim šupljinama i ne ovise o promjenama visine osnovnog tona ili harmonika. Kod zvučnih glasova formante ne možemo direktno uočiti zbog prisutnosti harmonika (eksperimentalno to bismo mogli vidjeti u spektru šapata (kada glasnice ne titraju). Kod bezvučnih konsonanata formante možemo uočiti direktno u spektru iako oni i ne predstavljaju u pravom smislu formante jer ne nastaju uvijek kao rezultat rezonancije. Npr. prednji glasovi /S/ ili /C/ ne stvaraju rezonanciju jer se proizvode na samom izlazu iz usne šupljine. Stoga se formanti u govoru uglavnom promatraju u izgovoru samoglasnika.

Vokalni trakt možemo zamisliti kao cijev ("akustička tuba") koja je otvorena (usta) na jednom a zatvorena na drugom kraju (glotis). U vokalnom traktu nalazi se stupac zraka na kojem se stvaraju longitudinalni valovi. Na mjestu svakog trbuha stvarat će se pojačana rezonancija a na mjestu čvorova prigušenje. Pojačana rezonancija formirat će govorne formante. Na slici su prikazani primjeri kako se u tubi (ili voklanom traktu) s otvorenim jednim krajem formiraju čvorovi i trbusi.

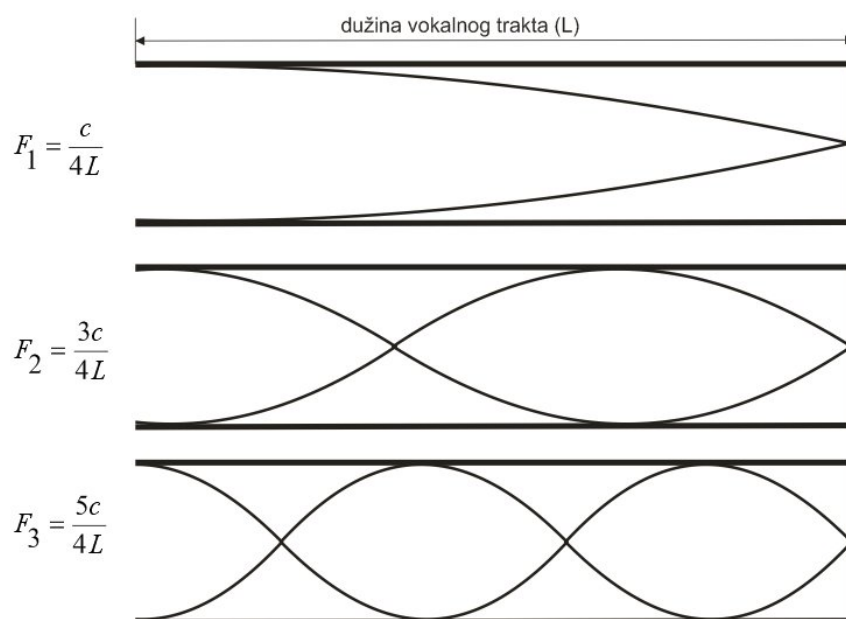
Rezonancija vokalnog trakta definirana je neparnim brojem četvrtina valne duljine vokalnog trakta. Kod ovakve otvorene tube najjaču rezonanciju će imati sinusoidni zvučni val kojemu je

valna duljina jednaka četverostrukoj dužini vokalnog trakta.

Struktura formanata je za pojedine glasove uvijek je približno ista ali se razlikuje između muškaraca i žena jer su i njihove rezonantne šupljine različite veličine. Kod muškaraca je vokalni trakt duži (veći volumen) pa su formanti frekvencijski niži nego kod žena. Kod zvučnih glasova formante ne možemo direktno u spektru uočiti zbog prisutnosti harmonika (eksperimentalno to bismo mogli vidjeti u spektru šapata, kada glasnice ne titraju). Formante najčešće uočavamo tako da iz FFT (Fast Fourier Transform) spektra napravimo LPC (Linear Predictive Coding) spektar koji vrši "peglanje" FFT spektra tako da se eliminiraju harmonici a postaju vidljivi formanti. Drugi je način da se u trodimenzionalnoj analizi (spektrogramu ili sonogramu) primjenjuje tzv. široko filtriranje (bolje se uočavaju formanti) ili usko filtriranje (bolje se vide harmonici). Slika prikazuje FFT spektar zvuka (zeleno boja) u kojem vrhovi krivulje predstavljaju harmonike te LPC spektar (plava boja) u kojem vrhovi krivulje pokazuju formante.



Slika 68: FFT spektar (vidljivi harmonici) i LPC spektar (vidljivi formanti) istoga zvuka



Slika 69. Nastanak formanata u tubi (primjer za vokalni trakt)

U prvom slučaju (za prvi formant - F_1) na otvorenom kraju nastat će jedan trbuh kojem će valna duljina biti jednaka duljini tube odnosno bit će jednaka jednoj četvrtini zvučnog vala s najjačom rezonancijom. Za tubu s jednim otvorenim krajem najjaču rezonanciju imat će zvučni val koji ima četiri puta veću valnu duljinu od vokalnog trakta.

U drugom slučaju, (za drugi formant - F_2) to će biti tri četvrtine zvučnog vala s najjačom rezonancijom.

U trećem slučaju, (za treći formant - F_3) to će biti pet četvrtina zvučnog vala s najjačom rezonancijom.

Formule za izračunavanje:

prvi formant
$$F_1 = \frac{c}{4L}$$

drugi formant
$$F_2 = \frac{3c}{4L}$$

treći formant
$$F_3 = \frac{5c}{4L}$$

F_1 - rezonantna frekvencija formanta (Hz)

c - brzina zvuka (izražena u metrima/sekundi)

L - dužina vokalnog trakta (izražena u metrima); kod muškarca je oko 17 cm (0.17 m)

Primjer kako se računaju rezonantne frekvencije vokalnog trakta (formanti)

korak 1: pretvoriti dužinu vokalnog trakta iz centimetara u metre:-

$$17.3 \text{ cm} \div 100 = 0.173 \text{ m}$$

korak 2: izračunati F_1

$$F_1 = c/4L = 346 \text{ m/s} \div (4 \times 0.173 \text{ m}) = 500 \text{ Hz}$$

korak 3: izračunati F_2 i F_3

$$F_2 = F_1 \times 3 = 500 \times 3 = 1500 \text{ Hz}$$

$$F_3 = F_1 \times 5 = 500 \times 5 = 2500 \text{ Hz}$$

$$F_4 = F_1 \times 7 = 500 \times 7 = 3500 \text{ Hz}$$

9.4. ARTIKULACIJA

Artikulacija (izgovor) je sposobnost razgovijetnog izgovaranja glasova i podrazumijeva pokrete govornih organa koji stvaraju govorne glasove. Konsonanti se tvore pokretima artikulatora u rezonantnim šupljinama. Frikcijskom modulacijom nastaju tjesnačni glasovi - frikativi. Kod njih artikulatori oblikuju uske otvore na kojima se prilikom prolaska zračne struje javljaju karakteristični šumovi (npr. bezvučni frikativi). Start-stop modulacijom nastaju pregradni glasovi (okluzivi) koji u akustičkom smislu predstavljaju poseban oblik šuma - prasak. Polupregradni glasovi (afrikate) nastaju kombinacijom frikcijske i start-stop modulacije.

Poremećaji artikulacije predstavljaju najučestaliji govorni poremećaj i većina logopeda se s njima najčešće susreće. Broj ljudi, a naročito djece s poteškoćama izgovora glasova, u stalnom je porastu. Vjerojatno ne zato što današnje generacije govore lošije, već zato što se sve više pažnje obraća na kvalitetu artikulacije i više se pazi na standarde i norme izgovora. Pravilna artikulacija postala je i jedan od preduvjeta za polazak djeteta u školu. Osim na sadržaj poruke sada se više pažnje obraća i na formu govora, pa tako i greške izgovora postaju uočljivije. Dosadašnja saznanja o poremećajima artikulacije glasova pružaju prilično jasnu sliku i shemu poremećaja. Na temelju iskustva i poznavanja fonetike svaki logoped može s dosta velikom sigurnošću predvidjeti da će jedan poremećen glas za sobom povući i poremećaj određenih drugih glasova. Smatra se da dijete ne uči glasove kao sustav izoliranih zvukova, već u kontekstu leksičkih jedinica. Kako je svaka leksička jedinica određena semantičkim faktorima, to znači da je preduvjet za usvajanje glasa sposobnost usvajanja jezika. Naravno, glas je moguće usvojiti i bez semantičkog faktora, ali se tada njegova upotreba svodi samo na igru ili imitaciju i nije u funkciji komunikacije govorom. Stoga, ako glas ne želimo promatrati samo kao imitaciju, nužno ga je povezati s fonemom kao najmanjom jedinicom jezičnog izraza. Isto tako razvoj artikulacije glasova potrebno je komparirati s usvajanjem fonološkog sustava gdje fonemi tvore ograničen broj jezičnih jedinica, a glasovi s beskonačno mnogo varijanti predstavljaju realizaciju (materijalizaciju) fonema u govoru. Može se reći da je "fonem najmanja linearna jedinica plana jezičnog izraza kojoj ništa ne odgovara na planu sadržaja, ali čijom izmjenom dolazi do promjene sadržaja jezičnog znaka..." i da "jedan fonem ima beskonačno mnogo varijanata u svojoj glasovnoj realizaciji (sve dok njihove varijante ne utječu na promjenu sadržaja)..." (Škiljan, 1980). Jedan od osnovnih preduvjeta razvoja artikulacije je sposobnost usvajanja jezika. Danas sve više prevladava mišljenje da za usvajanje jezika postoje "specifične (kognitivne) sposobnosti za govor koje se razvijaju prije i brže od ostalih intelektualnih sposobnosti te da su relativno neovisne o njima..." (Stančić, 1986, str. 74). Sličnu hipotezu navodi i Leneberg (1981) smatrajući da za razvoj jezika postoje specifične biološke (genetske) sposobnosti, ali ne genetske kao direktno nasljeđe, već kao naslijeđene predispozicije za razvoj govora. To ne

znači da su te specifične sposobnosti u cjelini urođene, ali ima istraživanja koja potvrđuju i tu hipotezu da već samim rođenjem postoji određena funkcionalna specijalizacija centralnog nervnog sistema za usvajanje jezika. Na to upućuje studija Molfese-a i Molfese-a (1983) u kojoj autori iznose rezultate niza elektrofizioloških istraživanja. Ova istraživanja su rađena na različitim dobnim skupinama (od novorođenčadi rođene u prosjeku 15 dana ranije, pa do odraslih osoba prosječne starosti 29 godina). Ispitanicima su davani slušni stimuli koji su imali različite oblike govornog i negovornog zvuka, a kao odgovori registrirani su evocirani potencijali u području verteksa. Rezultati tih istraživanja mogu se sažeti na sljedeće:

1. Već od rođenja (čak i kod prematurusa) postoji određena sposobnost razlikovanja fonetskog od nefonetskog stimulusa.
2. Tijekom maturacije CNS-a neke od sposobnosti (reagiranje na fonetske stimulse) lateraliziraju se u lijevu hemisferu.
13. Ako u najranijoj dobi dođe do oštećenja lijeve hemisfere, tada će desna hemisfera postati dominantna za jezik (govor) i to bez značajnih posljedica na razvoj govora. Međutim, kada kod odraslih osoba dođe do oštećenja lijeve hemisfere, ovakva zamjena funkcionalne specijalizacije od strane desne hemisfere nije moguća.

Većina autora smatra da razvoj govora (lingvistička faza) počinje oko navršene prve godine života. S početkom lingvističke faze počinje i osmišljena upotreba kombinacije glasova (Vuletić, 1987). Od tada pa na dalje moguće je pratiti razvoj glasova barem s dva aspekta. Jedan aspekt bio bi isključivo **artikulacijski** koji prati razvoj glasovnog sustava. Poznato je da će se prvo javiti kombinacije okluziva (najjednostavnija artikulacija) i vokala, a zatim će se iz okluziva postepeno razvijati frikativi, afrikate itd. Drugi aspekt bio bi **fonološki** koji, prema većini autora koji preferiraju ovaj izraz, nastoji prikazati razvoj artikulacije kao jedan segment razvoja jezika. dakle kao razvoj fonologije. Tako Scwartz (1984) lingvističku fazu razvoja govora dijeli na:

1. period prereprezentativne fonologije (12 do 18 mj.)
2. period reprezentativne (sistematske) fonologije (18 mj. do 7 god.)
14. period formalne fonologije (7 do 9-12 god.).

Za razvoj artikulacije najznačajnija su prva dva perioda. Prvi period obuhvaća usvajanje prvih 50 riječi (prema kriterijima odraslih to su uglavnom imenice). Usvajanje prvih riječi vezano je uz određena semantička polja (npr. hranjenje). Pojedina značenja djeteta izražava kroz upotrebu zvučnih cjelina koje prvenstveno uočava na leksičkoj razini, a ne fonetskoj (Leonard i sur., 1982, Smith, 1983). Tako npr. djeteta u početku može koristiti istu glasovnu realizaciju za nekoliko različitih riječi. Smatra se također da semantički faktori određuju i utječu na usvajanje fonologije

odnosno razvoj artikulacije (Schwartz i sur., 1983). Ali isto tako, vjerojatno je da su prve riječi djeteta određene i mogućnostima artikulacije. Uz drugi period reprezentativne ili sistematske fonologije Schwartz (1984, str. 49) kaže: "Tradicionalno, mi smo jedino uvažavali artikulacijski aspekt (produkciju) glasova u tom periodu. Shodno tome opis razvoja i klinička primjena bili su ograničeni na informacije koje su se gotovo u cjelosti odnosile na fonetski sustav. Iako je to važan aspekt razvoja, on ne objašnjava u cijelosti razvoj fonologije". Mnogi autori danas smatraju da se usvajanje glasova i njihov razvoj u ovom periodu ne mogu objasniti samo na temelju inherentnih distinktivnih obilježja koja uglavnom objašnjavaju artikulacijski i/ili akustički aspekt. Pokazalo se da na nivou artikulacije nije moguće u potpunosti objasniti razvoj i greške artikulacije a naročito one vrste grešaka koje mi nazivamo "nesistematskim", a to se nastoji objasniti na fonološkoj razini. Na kraju treba spomenuti još nekoliko činjenica vezanih uz razvoj i usvajanje glasova, a koja vrijede i kao pravila u terapiji. Navodi ih Ingram (1983):

1. Djeca uglavnom uče glasove postupno, a ne odjednom.
2. Djeca mogu simultano usvojiti više glasova, a ne jedan po jedan.
15. Djeca usvajaju percepciju glasova nekoliko tjedana prije nego što se ti glasovi pojave u njihovoj produkciji.
16. Djeca usvajaju (ovladavaju) produkcijom glasova kroz perceptualnu reprezentaciju riječi, a ne kroz neposredne imitacije.

9.4.1. ARTIKULACIJA GLASOVA

Uobičajene artikulacijske podjele glasova vrše se prema mjestu artikulacije, načinu artikulacije i prema zvučnosti glasova. Mjesto artikulacije nekog glasa određeno je položajem govornih organa koji međusobnim položajem ili dodiranjem tvore dotični glas. Prema mjestu artikulacije glasovi se dijele na:

- dvousnene ili bilabijale: **p,b,m**,
- zubnousnene ili labiodentale: **f,v**
- zubne ili dentalne: **s,z,c,t,d,n**
- nadzubne ili alvelarne: **l,r**
- nepčane ili palatalne: **i,e,j,lj,nj,š,ž,č,dž,ć,đ**
- srednjonepčane ili medijopalatalne: **a**
- mekonepčane ili velarne: **o,u,k,g,h**.

Način artikulacije odnosi se na vrstu pokreta te stupanj otvora ili zatvora što ga tvore govorni organi. Prema načinu artikulacije glasovi se dijele u dvije osnovne skupine. To su vokali i konsonanti. Kod tvorbe vokala zračna struja nema nikakve zapreke, a kod konsonanata postoje različiti oblici zapreke.

Prema načinu artikulacije glasovi se dijele na:

- vokale ili samoglasnike: **i,e,a,o,u** i slogotvorni **r**
- prijelazni glas ili poluvokal: **j**
- bešumni suglasnici ili sonanti: **v,m,n,nj,l,lj,r**
- pravi konsonanti: tjesnačni ili frikativi (**f,s,z,š,ž,h**), polupregradni ili afrikate (**c,č,dž,ć,đ**) i pregradni ili okluzivi **p,b,t,d,k,g**.,

Zvučnost je osobina onih glasova pri čijem izgovoru se javlja i titranje glasnica. Prema kriteriju zvučnosti glasove dijelimo na:

- zvučne (prave konsonante): **b,d,g,dž,đ,z,ž**
- bezvučne (prave konsonante): **p,t,k,c,č,ć,s,š,f,h**.

Ostali glasovi (vokali, poluvokal i sonanti) su neutralni jer ne sudjeluju u asimilaciji po zvučnosti. Međutim, u akustičko-artikulacijskom smislu i neutralni glasovi su zvučni.

Neki autori pridodaju artikulacijskim osobinama glasova i kriterij sudjelovanja rezonatora (oralni i nazalni). Prema tom kriteriju nazalni su glasovi **m,n,nj**, a svi ostali glasovi su oralni. Treba napomenuti da klasične artikulacijske podjele glasova predstavljaju samo grubo pojednostavljenje (Malmberg 1974) jer se govorni organi u procesu artikulacije nalaze u neprestanom kretanju pa se isti akustički dojam jednog glasa može izvesti različitim tipovima artikulacije.

9.4.2. AKUSTIČKE OSOBINE GLASOVA

Akustičke osobine glasova najčešće se prezentiraju binarističkim opisom razlikovnih obilježja. Pojmove "binarna opozicija" i "distinktivna obilježja" prvi je uveo Jakobson, utvrdivši 2 parova inherentnih distinktivnih obilježja na temelju kojih se može izvršiti podjela glasova bilo kojeg jezika prema njihovim akustičnim karakteristikama (Jakobson, Halle, 1988). Prema gramatici hrvatskoga književnog jezika (Barić i sur., 1979), u našem jeziku ima devet pari razlikovnih obilježja. To su:

1. vokalnost-nevokalnost
2. konsonantnost-nekonsonantnost
3. kompaktnost-nekompaktnost
4. difuznost-nedifuznost
5. nazalnost-nenazalnost
6. prekidnost-neprekidnost
7. stridentnost-nestridentnost
8. zvučnost-bezvučnost
9. gravisnost-negravisnost.

1. Vokalnost je osobina glasova kod kojih titraju glasnice, a zračna struja prolazi bez većih zapreka kroz usnu šupljinu. Vokalnost imaju vokali **i, e, a, o, u**, vokalsko **r**, te sonanti **v, m, n, nj, l, lj, r**.
2. Konsonantnost je osobina glasa koja se odnosi na prisustvo zapreke koja dovodi do stvaranja šuma prilikom prolaska zračne struje. Ovu osobinu imaju pravi konsonanti **p, t, k, b, d, g, c, č, ć, dž, đ, f, s, š, h, z, ž**, te sonanti **v, m, n, nj, l, lj, r**.

Prema osobinama vokalnosti i konsonantnosti glasove možemo podijeliti u četiri grupe:

- vokali - imaju osobinu vokalnosti i nekonzonantnosti
 - konsonanti - imaju osobinu konsonantnosti i nevokalnosti
 - sonanti - imaju osobinu vokalnosti i konsonantnosti
 - prijelazni glas **j** - nevokalski i nekonzonantski.
3. Nazalnost imaju sonanti **m, n, nj**. Ova osobina nastaje zbog spuštanja mekog nepca čime je omogućeno da dio zračne struje prolazi kroz nosnu šupljinu. Nazalna rezonancija daje specifičnu boju ovim glasovima.
 4. Kompaktnost je osobina glasova koja se odnosi na grupiranje zvuka u središnjem dijelu spektra. Ovu osobinu imaju glasovi pri čijoj artikulaciji jezik sudjeluje svojim hrptom, a mjesto artikulacije kreće se od desni do ždrijela. Kompaktni su palatalni i velarni glasovi: **š, ž, č, ć, dž, đ, nj, lj, k, g, h**, te srednji vokal **a**.
 5. Difuznost kao akustička osobina predstavlja raspršenost zvučne energije u području vrlo visokih i vrlo niskih frekvencija. Gledano artikulacijski, difuzni su oni glasovi koji se tvore vrhom jezika i usnama. To su **p, b, m, f, v, t, d, n, s, z, c**. Difuzni vokali su **u, i**.
 6. Neprekidnost je osobina glasova koji u svom trajanju nemaju naglog prekida (akustičkog ili artikulacijskog). Neprekidni su vokali, frikativi, poluvokal, te sonanti **v, l, lj**.
 7. Stridentnost podrazumijeva prisutnost jačeg i dužeg šuma. Šum je izraženiji ako je struja zraka jača, a tjesnac uži, hrapaviji ili više zakrivljen. Stridentni su frikativi (osim **h**), afrikate **c, č** te sonant **v**. Glasovi **s, z, c** nazivaju se još i piskavi (sibilanti) jer je kod njih šum najoštriji.
 8. Zvučnost je osobina glasova pri čijem izgovoru glasnice titraju. Prema akustičnom dojmu zvučni su svi vokali poluvokal, sonanti i zvučni konsonanti. Međutim prema asimilaciji po zvučnosti, ovu osobinu imaju samo pravi konsonanti **b, d, g, dž, đ, z, ž**. Svi ostali glasovi

ponašaju se neutralno prema asimilaciji po zvučnosti.

9. Gravisnost je osobina glasova koji imaju tamnu boju zvuka. S obzirom na artikulaciju to su glasovi kod kojih se stvara veći rezonantni prostor u usnoj šupljini. Ovu osobinu imaju konsonanti i vokali koji se tvore u stražnjem dijelu usne šupljine. Gravisni su vokali **o**, **u**, sonanti **v**, **m**, i pravi konsonanti **p**, **b**, **k**, **g**, **f**, **h**.

Prethodno navedene akustičko-artikulacijske osobine zasnivaju se više na subjektivnom doživljaju glasa (npr. taman, piskav, nazalan, zvučan itd.). Međutim, glasove možemo analizirati i s aspekta objektivne akustike promatrajući ih kroz tri osnovna parametra: frekvenciju, vrijeme i intenzitet. S obzirom na frekvencijski spektar glasove možemo promatrati prema obliku zvučnog spektra. Svi glasovi predstavljaju oblike složenog zvuka što znači da u sebi sadrže veći broj frekvencija. Sljedeća podjela prema obliku spektra može glasove razdijeliti na muzičke tonove i šumove. Karakteristika muzičkih tonova je postojanje jedne osnovne frekvencije (osnovnog harmonika) i viših harmonika koji su cjelobrojni višekratnici osnovnog harmonika. Svi vokali imaju svojstva muzičkog tona. Napomenimo još da je poluvokal **j** po svojim akustičkim osobinama najbližiji vokalu **/I/**. Dosadašnja akustička analiza glasova uglavnom se zasniva na sonografiji, a često se susreće naziv "vidljivi govor" (visible speech). Iako je ovaj postupak predstavljao veliki napredak u akustičkoj analizi, on ima i svojih ograničenja. Stariji tipovi sonografa, na kojima su uglavnom vršene analize glasova kod nas i u svijetu, napravljeni su u analognoj tehnologiji i zbog toga relativno neprecizni. Pouzdane analize uglavnom su dobivene samo na samoglasnicima koji imaju harmoničan zvuk. Međutim kod suglasnika koji u akustičkom smislu predstavljaju šum, nije bila moguća dovoljno egzaktna analiza. Zato kod različitih autora nalazimo različite i neprecizne podatke, a često se o akustičkim karakteristikama govori opisno kao npr. o višem, nižem, tamnom ili svijetlom spektru. Poteškoće u analizi proizlaze i iz činjenice da suglasnici u govoru predstavljaju prijelazno stanje između samoglasnika (Kurtović, 1985), pa zato i njihova akustička slika varira i ovisi o susjednim glasovima. Egzaktnija akustička analiza glasova može se izvršiti pomoću digitalnih analizatora zvuka u realnom vremenu. Ovi analizatori koriste digitalno filtriranje ili FFT analizu (Winckel, 1968, Randall i Upton, 1978, Thrane, 1979, Randall i Jens Hee, 1981, Randall, 1987).

FFT analiza (Fast Fourier Transform) zasniva se na temelju posebnog matematičkog postupka (Fourier-ov integral), a omogućava analizu složenog zvuka razlaganjem na njegove osnovne komponente. Sumirajući podatke o frekvencijskom spektru suglasnika (Škarić, 1967, Jelaković, 1978; Vladislavljević, 1977, 1981) moguće je izdvojiti nekoliko osnovnih karakteristika:

- Bezvučni glasovi se nalaze u višem dijelu spektra (iznad 3000 Hz), a zvučni u nižem dijelu (ispod 4000 Hz).
- Nazali imaju dva intenzitetska formanta. Niži se nalazi između 200 i 600 Hz, a viši između

1000 i 1200 Hz.

- Bilabijalni okluzivi **p** i **b** sadrže u svom spektru i jake infrazvučne komponente. Možemo ih osjetiti kao zračni udar ako prilikom izgovora stavimo dlan ispred usta. Glasovi **k** i **g** imaju koncentriranu energiju oko 2500 Hz, a **t** i **d** se nalaze oko 8000 Hz.
- Frikativi su frekvencijski najviši glasovi (u prosjeku, nalaze se između 5000 i 12000 Hz). Najviši su frikativi **s** i **z** (7000 - 12000 Hz), a najniži frikativi su **f** i **h** (ispod 3000 Hz).
- Afrikate se nalaze između 4000 i 6000 Hz, a najviši je glas **c** koji ima koncentriranu zvučnu energiju oko 8000 Hz, a često i više.
- Sonanti se nalaze u području oko 3000 Hz. Glasovi **v** i **l** imaju spektar do 3000 Hz, glas **lj** ide do 4000 Hz, a **r** ima najizraženiji spektar od 700 do 1400 Hz. Frekvencijske karakteristike glasova, a naročito suglasnika, prema dosadašnjim analizama, nemaju veliku povezanost s načinom ili mjestom artikulacije.

Međutim, ako uspoređujemo način artikulacije s trajanjem glasova, tada povezanost postoji.

Vokali imaju najduže trajanje, a kreće se u rasponu od 50 do 300 ms (Jelaković, 1978). Kurtović (1985) navodi da u normalnom govoru trajanje vokala iznosi od 70 do 150 ms. Randall (1987) iznosi podatak da se trajanje kreće u rasponu od 100 do 200 ms. Iza vokala po trajanju nalaze se frikativi, zatim afrikate, a najkraći glasovi su okluzivi. Trajanje suglasnika kreće se u rasponu od 2 do 40 ms što je ujedno i donja granica osjetljivosti sluha za prepoznavanje tonske visine zvuka (Jelaković, 1978). Trajanje okluziva kreće se u rasponu do 10 ms (Randall, 1987). Treba još napomenuti da na trajanje glasa u govoru utječe i vrsta akcenta te položaj glasa u riječi.

Intenzitetske karakteristike glasova pokazuju da najveći intenzitet posjeduju samoglasnici, a kako se najveći dio njihove energije nalazi ispod 2000 Hz, tu je koncentrirano preko 90% snage govora. Iza samoglasnika po intenzitetu se nalaze sonanti, a zatim slijede pravi konsonanti. Općenito, možemo reći da su vokali vremenski dugi, frekvencijski niski i intenzitetski jaki glasovi dok su konsonanti vremenski kratki, intenzitetski slabi i frekvencijski visoki glasovi (Pappas, 1985). Važno je također napomenuti da ovi objektivni akustički parametri određuju i suprasegmentalnu strukturu govora. Pri tome najvažniju ulogu u stvaranju ritma govora ima kombinacija intenziteta, frekvencijska visina vokala i vrijeme trajanja artikulacije (Calvert, 1980).

9.4.3. KOARTIKULACIJA

Prilikom izgovora neke riječi, glasovi koji je tvore ne izgovaraju se potpuno sukcesivno, jedan za drugim. Oni se međusobno stapaju, odnosno preklapaju i pri tom racionaliziraju pokrete artikulatora samo na najnužnije. To se naziva **koartikulacija** ili **suizgovor**.

Koartikulacija se najčešće manifestira u vremenu i to na dva načina (McReynolds, 1986):

- kao prerano započeti pokret kada se artikulatori postave u adekvatan položaj prije zvukovne realizacije dotičnog glasa (to je tzv. pozitivna, prednja ili preuranjena koartikulacija) i
- kao zadržavanje izgovornog položaja prethodnog glasa iako je već počeo glas koji slijedi (tzv. negativna, stražnja ili zakašnjela koartikulacija).

Koartikulacija se može manifestirati i na drugi način kada se radi o govornim poremećajima.

Tako npr. jedan dislaličan glas može na akustičkom planu "inficirati" susjedne glasove ispred ili iza njega (Heđever, 1992-a, 1992-b). Dosadašnja istraživanja koartikulacije su malobrojna, a metodološki vrlo različita. Najčešće se nastoje registrirati pokrete artikulatora u govoru i pri tom se koriste različite metode snimanja kao npr. ultrazvuk (Parush i Ostry, 1993), elektropalatografija (Harrington, 1987) itd. Ohman je (1967) postavio numerički model koartikulacije koji je baziran na njegovim ranijim spektrografskim mjerenjima koartikulacije. Sussman, MacNeilage i Hanson (1973) su pratili EMG odgovore simultanih pokreta usana i vilice. Kent i Minifie (1977) napravili su pregledni rad prikaza modela govorne realizacije sa gledišta koartikulacije. Bell-Berti i Hariss (1982) istraživali su vremenski aspekt pokreta usana s gledišta teorije o motornoj kontroli govora. Lubker i Gay (1982) također istražuju koartikulaciju usana te je povezuju s biološkim osobinama vokalnog trakta kao i specifičnostima pojedinog jezika.

Koartikulacija znači da položaj usana u nekom trenutku ne ovisi samo o glasu koji se trenutno izgovara, nego i o glasovima prije i poslije.

"Pod koartikulacijom podrazumijevamo međusobno preklapanje odnosno povezivanje glasova u slogu ili riječi. Dosadašnja malobrojna istraživanja ukazuju na povezanost koartikulacije i senzomotornog razvoja, pa možemo pretpostaviti da će se teškoće u senzomotornom razvoju artikulacije odraziti i na koartikulaciju. Na akustičkom planu koartikulaciju smo analizirali s vremenskog, frekvencijskog i intenzitetskog aspekta gdje su se pokazale određene specifičnosti." (Heđever, 1992-a).

"Na temelju onoga kako se stvarno odvija izgovaranje naravnoga govora treba pretpostaviti da motorički centri unaprijed planiraju izgovor ne jednog po jednog glasnika, nego čitave govorne riječi odjednom. U tom izvedbenom planu kao da postoje dva načela. Prvo: ako u riječi treba izvesti dva puta isti pokret, obavlja se samo jedan produženi kad god nema za to zapreke. Drugo: pokret koji treba obaviti u riječi započinje se odmah ako nema za to zapreke. Ostvarivanje se tih načela očituje u onome što se naziva suizgovor ili koartikulacija" (Škarić, 1991).

Dakle, Škarić opisuje dva tipa koartikulacije:

1. ako riječ sadrži dva ista glas, tada će artikulatori to nastojati realizirati kao samo jedan produženi pokret,
10. prijevremeni pokret artikulatora glasa koji će tek uslijediti, izvest će se čim je to moguće, pa čak i prije samog glasa.

Primjer i objašnjenje za prvo načelo: u riječi /uputiti/ dva se /u/ izgovaraju jednim produženim pokretom jezika, a u pola trajanja tog pokreta suizgovorno se ubacuje pokret usana za /p/. Također se dva /i/ izgovaraju jednim produljenim pokretom leđa jezika s umetkom pokreta jezika za /t/. Pri

izgovaranju riječi /vivak/ usne nakon izgovora prvog /v/ ostaju i za vrijeme izgovaranja /i/ u pripremnom položaju za izgovaranje drugog /v/. Uvjet takve štednje je da se glasovi koji se suizgovaraju izvedu različitim organima. Različitim organima za suizgovaranje smatra se svaki dio izgovornih organa koji se posebnim mišićima može zasebno pomicati (kao što mogu usne, meko nepce, donja čeljust, ždrijelo, grkljan, vrh jezika, leđa jezika i rubovi jezika).

Primjer i objašnjenje za drugo načelo: u riječi /luk/ usne kreću u zaobljen pokret koji je potreban za /u/ odmah od početka riječi tj. od /l/. Ako je moguće, neki pokreti se obavljaju prije nego dođe vrijeme za njihov glas, tako da se onda suizgovaraju s glasovima koji se upravo izgovaraju. Suizgovorni pokret može uraniti i za tri glasa, npr. u riječi /struna/ gdje se usne zaokružuju za /u/ od samog početka progovaranja riječi, tako da su tri početna suglasnika suizgovorno zaokružena.

Kada se radi o govornim poremećajima, koartikulacija se može manifestirati i na drugi način. Tako npr. dislaličan glas može na akustičkom planu "infiltrirati" susjedne glasove ispred ili iza njega (Heðever, 1992). Dosadašnja istraživanja koartikulacije su malobrojna, a metodološki vrlo različita. Najčešće se nastoje registrirati pokreti artikulatora u govoru i pri tom se koriste različite metode snimanja kao što su ultrazvuk, elektropalatografija...

Istraživači su radili na otkrivanju stalnih, stabilnih i bitnih akustičkih obilježja pojedinačnih segmenata govora. Temeljni problem tih istraživanja bilo je pitanje postoje li neki elementi u akustičkom signalu govora koji su stalni i stabilni, bez obzira na fonetski kontekst ili individualne karakteristike govora pojedinca. Radovi Linblom-a (1963) i Ohman-a (1966) su pokazali preklapanje modela u odnosu na vremenske segmente i fonetski kontekst akustičke analize govora, a rad Lisker-a i Abramson-a (1964) pokazao je specifičnosti jednog vremenskog segmenta govora (VUG-a) u različitim jezicima. Sussman, MacNeilage i Hanson (1973) su pratili EMG odgovore simultanih pokreta usana i vilice. Bell-Berti i Hariss (1982) istražili su vremenski aspekt pokreta usana s gledišta teorije o motornoj kontroli govora. Lubker i Gay (1982) istražili su koartikulaciju usana te je povezuju s biološkim osobinama vokalnog trakta kao i sa specifičnostima pojedinog jezika (prema Heðever, Kovačić, 1997).

9.4.4. POREMEĆAJI ARTIKULACIJE

Većina definicija svrstava poremećaje artikulacije u dislalije (Vuletić, 1987). Novije definicije uglavnom polaze od fenomenologije opisujući samo manifestiranje poremećaja, dok su ranije definicije u sebi sadržavale i klasificiranje poremećaja prema etiologiji. U posljednjih nekoliko godina može se uočiti određena podijeljenost među autorima. Neki autori poistovjećuju poremećaj artikulacije s dislalijom, drugi dislaliju promatraju šire kao poremećaj glasa i leksika, a neki smatraju da dislaliju treba klasificirati i definirati isključivo s aspekta jezika. Jednu od definicija

poremećaja artikulacije kao dislalije dala je Vladislavljević (1981). Ona kaže da su artikulacijski poremećaji ili dislalije nemogućnosti ili nepravilnosti izgovora pojedinih glasova, a manifestiraju se kao omisije, supstitucije i distorzije, dok poremećaje na nivou riječi svrstava u jezične poremećaje. Međutim ista autorica (Vladislavljević, 1989) sada smatra da je ovakva klasifikacija na temelju simptoma (omisije, supstitucije i distorzije) zastarjela i da bi poremećaje artikulacije (dislalije) trebalo promatrati i definirati s aspekta jezika jer su glasovi njegov sastavni dio. Vuletić (1987) daje definiciju dislalije koja se sastoji iz dva dijela, a odnosi se na poremećaje izgovora glasova i poremećaje leksika. Prema toj definiciji "dislalija je poremećaj izgovora glasova u obliku omisija, supstitucija i distorzija te poremećaj riječi u obliku omisija, supstitucija, adicija i metateza glasova i slogova, neovisno o izgovornim mogućnostima, a struktura rečenice i slijeda rečenica, dakle upotreba sintakse i morfologije, u skladu je s dobi govornika" (Vuletić, 1987, str. 26). Danas se kod većine autora uočava trend ka povezivanju artikulacijskog i leksičkog aspekta. Pri tom se ne negiraju artikulacijske kategorije poremećaja (omisija, supstitucija i distorzija) ali se smatra da je prikladniji termin "fonološki" poremećaji. To se objašnjava činjenicom da je samo u oko 20 - 25 % slučajeva poremećaj zaista na nivou artikulacije, a u 75 - 80 % slučajeva poremećaj se manifestira i na nivou leksika pa se može cjelovitije objasniti na fonološkoj (fonemskoj) razini koja povezuje artikulaciju i leksik (Schwartz i sur., 1980, Shriberg i Kwiatkowski, 1982-a, 1982-b, 1988, Shriberg, 1983, Edwards, 1983, Leonard, 1985). Smatra se da je ovakav fonološki pristup započeo Compton (1970) svojom studijom. On polazi od pretpostavke da su poremećaji artikulacije dio šireg sustava koji se može objasniti određenim fonološkim pravilima (procesima), a u svom je ispitivanju pokazao da postoji visoka konzistentnost i sistematičnost grešaka ako ih promatramo na fonološkoj razini dok bi te iste greške na artikulacijskoj razini mogli opisati samo kao "nesistematske" greške. Nakon toga proveden je niz istraživanja koja su pokazala da su fonološki poremećaji povezani i s drugim poremećajima jezika, dok čisti artikulacijski poremećaji uglavnom nisu. Ali, isto tako neka djeca mogu imati neke specifične jezične poremećaje (npr. odsustvo upotrebe složenih rečenica) a da nema poremećaja artikulacije. Fonološki poremećaji ispitivani su u odnosu na sintaktičke i semantičke faktore. Pokazalo se da postoji povezanost fonoloških (artikulacijskih) poremećaja s poremećajima sintakse što i nije neočekivano, jer obje kategorije predstavljaju strukturalne aspekte jezika (Shriner i sur., 1969, Panagos, 1974, Schwartz i sur., 1980, 1983, Paul i Shriberg, 1982). Faircloth i Faircloth (1970) pronašli su slučajeve kada nije bilo fonoloških poremećaja na nivou leksika (npr. prilikom testiranja s izoliranim riječima), ali su se ti poremećaji pojavili prilikom govora u rečenici. Odnosi između fonologije i semantike nisu odmah uočljivi budući da se fonologija odnosi na strukturalne aspekte jezika a semantika na njegov konceptualni aspekt. Međutim neka novija istraživanja ukazuju da određeni semantički faktori utječu i na razvoj artikulacije. Jedan od tih semantičkih faktora je vrsta riječi (npr. glagol koji izražava radnju

nasuprot imenici). Drugi faktor je djetetovo poznavanje i razumijevanje leksičkih jedinica. Camarata i Schwartz su 1982 (prema Schwartz i sur., 1983) u svom istraživanju utvrdili da djeca prave znatno više artikulacijskih grešaka kod izgovora glagola nego li kod imenica. Ovo se može objasniti time što djeca kod usvajanja leksika u početku nauče više imenica nego glagola pa im je i artikulacijski vjerojatno bliskije izgovaranje imenica. Shriberg i Kwiatkowski (1988) sumiraju rezultate nekoliko longitudinalnih studija (neke su trajale čak 20 godina) osoba koje su u djetinjstvu imale artikulacijske i/ili jezične poremećaje. Pokazalo se da osobe koje su imale samo poremećaje artikulacije nisu kasnije u životu pokazivali neke specifične poteškoće. Ali osobe koje su imale u djetinjstvu jezične poremećaje, imale su tokom čitavog života niz problema (npr. poteškoće u obrazovanju, radu, interpersonalnim odnosima itd.). Schery (1985) je utvrdio da postoji također značajna povezanost inteligencije s jezičnim problemima. Dakle, što se tiče definiranja poremećaja artikulacije možemo zaključiti da se omisija, supstitucija i distorzija usko povezuju samo uz fonetski aspekt, a da je za potpunije razumijevanje nesistematskih grešaka artikulacije potrebno analizirati poremećaj na leksičkoj razini (fonološki aspekt). Treba napomenuti da fonološki pristup ne umanjuje značaj artikulacije, već poremećaj nastoji objasniti cjelovitije i šire. Neki autori čak pretpostavljaju da bi vrlo precizna akustička analiza glasova u samom početku lingvističke faze mogla diferencirati djecu koja će imati fonološke poremećaje od djece kod koje će taj razvoj teći normalno (Shriberg i Kwiatkowski, 1983, 1988, Leonard, 1985). Više je autora pokušalo definirati fonološke procese (npr. Weiner, 1984), a na tom području posebno je informativan rad Edwards-a (1983) koji sintetizira podatke iz pet studija. Autor navodi one fonološke procese, engl. phonological (natural) process (analysis), koji su u literaturi dobro dokumentirani a odnose se na normalan i/ili poremećen razvoj fonologije (artikulacije). Ukupno je izdvojeno 26 fonoloških procesa i svrstano u 7 grupa.

9.4.4.1. UČESTALOST POREMEĆAJA ARTIKULACIJE

Učestalost poremećaja najčešće se promatra s obzirom na dob, spol i pojedine glasove ili skupine glasova. Većina istraživanja pokazala je da je razvoj artikulacije nešto brži kod djevojčica. Ta razlika je uglavnom značajna između 3 i 5,5 godina (Vuletić i Ljubešić, 1984, Kenny i sur., 1984, Kenny i Prather, 1986). Što se tiče broja grešaka artikulacije, on značajno opada kod oba spola s porastom dobi. Najčešće poremećeni su likvidi frikativi i afrikate. Na predškolskom uzrastu on se kreće približno do 30 %, početkom školovanja iznosi oko 15 %, oko desete godine je 8 %, a kod odraslih osoba oko 4 % populacije ima poremećaje izgovora (Vuletić, 1987).

9.4.4.2. ETIOLOGIJA

Klasične podjele uglavnom dijele uzroke artikulacijskih poremećaja na organske i funkcionalne. Pod organskim uzrocima misli se na razne anomalije i odstupanja u građi govornog aparata te

oštećenja sluha (Jaffe, 1984, McWilliams, 1984, Cole i Paterson, 1984). Međutim, funkcionalne uzroke je mnogo teže odrediti, pa se taj pojam sve više zamjenjuje nekim drugim pojmovima kao što su "neorganski" ili "nepoznati" uzroci (Ruscello, 1984, Weiner, 1984, Bernthal i Bankson, 1984). Vuletić (1987) sve neorganske uzroke svrstava u kategoriju "ostali uzroci", a tu ubraja loš fonematski sluh, nespretnost artikulatora, loš govorni uzor, infantilni govor, zapuštenost, roditeljski perfekcionizam, bilingvizam, zaostajanje u intelektualnom razvoju i nekadašnje uzroke. Vladislavljević (1981) sve uzroke dijeli na: uzroke sredine, organske uzroke, psihološke uzroke i nasljedne faktore. Ivičević-Desnica i Šikić (1989) pretpostavljaju da su tzv. funkcionalni uzroci neurogenog porijekla te da su izazvani neurološkim disfunkcijama, a to su potkrijepili nizom nalaza iz literature i vlastite prakse (Šikić i Ivičević-Desnica, 1986). Worthington i Peters (1984) također iznose podatke da je kod 25 - 44 % djece s funkcionalnim poremećajima artikulacije ustanovljen promijenjen ABR (auditory brainstem response) - slušno evocirani potencijali moždanog debla. Kao što vidimo i kod tih neorganskih uzroka sve češće se otkrivaju fina neurološka oštećenja i disfunkcije, a sve više se koristi termin "nepoznati uzroci".

9.5. PROZODIJA

Iako se na prvi pogled prozodija ne uklapa u poglavlje o artikulaciji, ona je ipak ovisna o artikulaciji, tj. o brzini izvođenja pokreta. Prozodija, pored ostalog, uključuje brzinu govora i naglasak. Govoriti se može različitom brzinom, ali još nije dovoljno jasno kako mehanizam govorne kontrole omogućava realizaciju razumljivoga govora pri različitim brzinama. Istraživanja ukazuju da pojedini govornici koriste različite obrasce u kontroli govorne brzine. Kuehn i Moll (1976) došli su do takvog zaključka na temelju radiografskih snimaka i analiziranja brzine pokreta artikulatora. Ostry i Munhall (1985) također su istraživali pokrete artikulatora posebno prateći trajanje pokreta, premještanje položaja i brzinu artikulatora. Oni su zaključili da kada je brzina promatrana u odnosu na položaj i trajanje pokreta artikulatora, kinematičke varijable tendiraju većoj ujednačenosti nego u slučaju kada su brzina i položaj artikulatora promatrani odvojeno. Ovaj rad možemo smatrati dobrim primjerom kako kvantificirati parametre govornih pokreta. Ako znamo da u procesu govora sudjeluje oko 100 mišića, postavlja se pitanje da li se kontrola vrši izolirano za svaki mišić i svaku jedinicu govora ili se kontrola vrši na temelju većeg grupiranja. Najznačajniji rad na ovom području objavili su Kelso, Saltzman i Tuller (1986) obrazlažući teorijski model koordinacije koji obuhvaća veće skupine mišića.

9.6. DIJADOHOKINEZA

Dijadohokineza ili dijadohokinenetička brzina je pojam koji se susreće u neurologiji i logopediji.

U neurologiji se odnosi na sposobnost vršenja brzih antagonističkih pokreta na rukama i nogama a ispituje se kombinacijama pokreta kao npr. stiskanjem/otvaranjem šake, udaranje dlanovima po natkoljenicama, pomicanje prstiju kao da se svira klavir i sl. Nemogućnost ili nepreciznost izvođenja ovakvih pokreta naziva se adijadohokineza.

Dijadohokineza u govoru (Diadochokinetic rate - DDK) mjeri kako brzo neka osoba može proizvesti seriju brzih uzastopnih izmjenjujućih glasova. Najčešće se traži uzastopno ponavljanje serije slogova s kombinacijom konsonant-vokal ("pa-ta-ka"). Umjesto pojma dijadohokineza može se koristiti i termin "maksimalna govorna brzina ponavljanja". Cilj ispitivanja dijadohokineze je procjena maksimalne brzine pomicanja artikulatora u izgovoru pri čemu se mjesto artikulacije uzastopno mijenja od prednjeg (usta) preko srednjeg dijela usne šupljine (pokret jezika) do stražnjeg (meko nepce). Rezultat se iskazuje kao maksimalni broj izgovorenih slogova u određenom vremenu (obično se uzima vrijeme od 5 do 15 sekundi, ali ispitivač mora uzeti u obzir jednako vrijeme kod svih ispitivanja). Slabije sposobnosti (manji broj izgovorenih slogova) može ukazivati na nedovoljnu maturaciju neuro-motornog govornog sustava ili na neurološke ili govorne poteškoće (ataksija, apraksija, dizartrija, mucanje i sl.).

Prilikom ispitivanja logoped mora prvo sam demonstrirati (pokazati) što se traži od ispitanika, zatim dati ispitaniku da pokuša to ponoviti i tek nakon uvježbavanja se vrši pravo testiranje.

Kod mlađe predškolske djece može se koristiti i neka druga serija slogova koja su djeci jednostavnija i razumljivija kod davanja uputa. To npr. može biti neka riječ koja je poznata mlađoj djeci ali riječ mora sadržavati sva tri položaja izgovora (prednji – srednji – stražnji) kao npr. "patike" ili "patika" (papuče). Iznimno, kod mlađih se mogu koristiti i riječi s barem dva položaja izgovora (prednji – stražnji) kao npr. u riječima "pika" ili "puki". Ispitivanje dijadohokineze kod mlađe djece osobito je korisno u procjeni općih govornih motoričkih sposobnosti te kod djece sa sumnjom na mucanje.

10. AKUSTIKA GLASA

10.1. VISINA GLASA

Visina glasa je perceptivni fenomen, ovisi o fundamentalnoj frekvenciji (F_0) i izražava u hercima. Što je brže vibriranje glasnica, viša je fundamentalna frekvencija i glas doživljavamo višim. Visina glasa determinirana je subglotičkim tlakom, napetošću, masom (debljinom) i duljinom glasnica. Napetost glasnica ovisi o položaju krikoidne, tiroidne i aritenoidnih hrskavica. Neka CT istraživanja pokazuju da je krikotiroidni mišić najviše povezan s F_0 i smatra se da visina glasa ovisi i o krikoidnoj i tiroidnoj hrskavici te hioidnoj kosti. Na vrijednost F_0 utječu dob, spol, tjelesna konstitucija, socijalno okruženje, emocije, intelektualni status, laringealna patologija, mentalni poremećaji, oštećenja sluha, neurološki i endokrini poremećaji te opće zdravstveno stanje (Salihović i sur., 2007). Povišenje tlaka zraka dovodi istovremeno do povećanja intenziteta glasa i višeg tona a veća debljina (masa) daju niži ton.

Prema spolu i dobi prosječna brzina titranja glasnica u govoru iznosi:

- kod muškaraca 100 – 150 Hz
- kod žena 180 – 220 Hz
- kod djece 300 Hz.

Visina glasa kod djece ovisi o dobi i brzini rasta i razvoja. Prvi plač novorođenčeta ima visinu između 400 i 600 Hz. Porastom kronološke dobi djeteta F_0 pada. Tako npr. za dječake kronološke dobi 10,5 godina vrijednost F_0 iznosi oko 250 Hz (Heđever, 1996).

Optimalna visina glasa obično je smještena na četvrtom tonu iznad najdubljeg (ugodnog) tona. Glas koji koristimo u normalnom govoru nazivamo habitualnim. Ukoliko su optimalna i habitualna visina glasa identične, tada nema zlouporabe glasa (Salihović i sur., 2007). Najniži ton na kojem čovjek može fonirati zove se bazalna visina glasa. Ona varira tijekom dana, tj. najniža je ujutro (tzv. jutarnji glas), a tijekom dana naraste za jedan do tri polutona. Općenito je niža nakon spavanja gdje dolazi do relaksacije tjelesne muskulature, pa tako i vokalne. Mnogi pojedinci glasaju se upravo bazalnom visinom glasa kao habitualnom što je vrlo često uzrok vokalne patologije. Oko 90% pacijenata s dijagnozom organske disfonije govori upravo bazalnom visinom glasa kao habitualnom.

Prilikom dijagnosticiranja i ispitivanja glasa obično se mjeri fonacijska i habitualna (govorna) visina glasa. Dobivene vrijednosti vrlo su važne u procjeni kvalitete ili patologije glasa. U svrhu procjene glasa također se ispituju visine i rasponi glasa:

- fonacijski (tijekom produžene fonacije, mora biti što manji)
- govorni (raspon glasa u normalnom govoru)

- pjevački (sposobnost pjevanja tonske ljestvice)
- fiziološki (maksimalni raspon).

Fonacijska visina glasa ispituje se u kontinuiranoj fonaciji (najčešće vokala /A/). Od ispitanika se traži da svojom normalnom glasnoćom i visinom produženo (oko 5 sekundi) fonira vokal. Glas je kvalitetiniji ako je fonacija stabilna, sa što manje varijacija i visini ili glasnoći.

Govorni raspon ispituje se najčešće tako da ispitanik svojim uobičajenim govorom izgovori brojeve od 1 do 10. Normalni glasa varira uglavnom unutar jedne do dvije terce (trećine oktave).

Pjevački raspon (dijapazon) glasa odnosi se na sposobnost pojedinca da kontroliranjem tonske visine može otpjevati tonsku ljestvicu. Pjevački raspon većine ljudi pokriva raspon od jedne oktave dok kod profesionalnih pjevača iznosi 2 do 2,5 oktave a kod boljih pjevača raspon može ići i do 3, pa čak do 4 ili 5 oktava (Kovačić, 1997). Prema visinama glasa i prema tonalnom području nastala je i podjela pjevačkih glasova. Za muške glasove to su bas, bariton i tenor, a ženske (kontra)alt, mezzosopran i sopran. Pjevačkim glasovima približno odgovaraju sljedeće vrijednosti F_0 :

Tablica 13. Visine pjevačkih glasova

muški glas:	bas 98-110 Hz,	bariton 117-133 Hz,	tenor 147-165 Hz
ženski glas:	kontraalt 220 Hz,	mezzo-sopran 226 Hz,	sopran 262 Hz

Maksimalni fiziološki raspon iznosi od 2 – 4,5 oktave a ispituje se tako da osoba pokuša kontinuirano fonirati glas /A/ od najnižeg mogućeg pa do najvišeg glasa (glissando).

10.2. INTENZITET GLASA

Intenzitet ili jakost glasa percipiramo kao glasnoću i ovisi o amplitudi titranja glasnica i subglotičkom tlaku zraka. Što su veće amplitude titranja glasnica, jakost glasa je veća i obratno (Stemple, 1992, prema Heđever, Kovačić, 1997). Izražava se u decibelima (dB). Maksimalni intenzitetski raspon glasa pojedinca (od najtišeg do najglasnijeg) kreće se obično do 70 dB. Ovaj raspon između pianissima i fortissima naziva se dinamikom (dinamički raspon).

Normalan intenzitet glasa (govora) pojedinca u tihim okolinskim uvjetima iznosi oko 60 do 65 dB. Intenzitet govora varira i ovisi o nizu faktora: buci okoline, udaljenosti između govornika i slušača, načinu govora i sl. Prejaki intenzite govora može dovesti do poremećaja glasa i promjena na samim glasicama (pojava čvorića i ulkusa na glasicama). Osim uobičajene glasnoće, ponekad se govori preglasno (ili se više). To može biti zbog nadglasavanja buke, navijanje na sportskim natjecanjima i sl. S pojačanjem glasnoće i glas postaje viši pa ga nazivamo povišenim glasom.

10.3. BOJA GLASA

Glas je složen zvuk što znači da se sastoji od osnovnog tona i nadtonova ili harmonika. Njegovo

titranje je periodično, tj. u svakom je dijelu spektra jednako pa zbog toga ako uklonimo osnovni ton, i dalje će se čuti ista visina glasa.

Boja glasa (timbar ili kvaliteta glasa) karakteristika je koja svaki glas čini jedinstvenim i na temelju koje prepoznajemo različite govornike. Ona ovisi o obliku i volumenu rezonantnih šupljina, odnosno nastaje kao rezultat rezonancije tj. dorade zvuka u rezonantnim šupljinama vokalnog trakta (Heđever, Kovačić, 1997). Boja glasa ima stalnu i promjenjivu sastavnicu. Stalna sastavnica proizlazi iz organskih osobina čovjeka tj. nasljednih i stečenih anatomske – fiziološke karakteristike, ali isto tako ovisi i o načinu govora kao i o socio – kulturalnom okruženju. Promjenjiva sastavnica odnosi se na izražajne mogućnosti svakog govornika (Škarić, 1991). Prema boji glasa, koja najviše ovisi o položaju larinksa, razlikuju se tri registra glasa :

- prsni registar
- srednji registar
- čeon ili tjemeni registar (falset).

Prsni registar je taman s jakim osjetom vibracija na prsnoj kosti, a izvodi se spuštanjem larinksa uz proizvodnju vrlo niskih tonova. Čeon je registar piskav, s osjetom vibracija u području glave i ide zajedno s vrlo visokim tonovima, a izvodi se stegnutim i visoko postavljenim larinksom. Srednji registar ima temeljnu pojedinačnu boju glasa i na njemu se izvode srednji tonovi, a larinks je u srednjem položaju (Škarić, 1991).

Boja glasa također je perceptivni fenomen, tj. karakteristika koja svaki glas čini osobnim, zbog čega vrlo brzo i uspješno prepoznajemo različite govornike, ali i različita glazbala i druge zvukove. U akustici boja ovisi o spektru složenog zvuka. Prema Malmbergu (1974), boja glasa nastaje kao rezultat čujnosti harmoničnih tonova čiji broj i intenzitet ovise o frekvenciji izvornog tona, veličini (volumenu) i obliku rezonatora, napetosti stijenki rezonatora te materijalu od kojeg je građen.

10.4. MIJENE GLASA

Fonacija je definirana kao ekspirij modificiran laringealnim vibracijama (Dejonckere, 1990). Pri normalnoj fonaciji obe glasnice titraju jednakom amplitudom, frekvencijom te se istodobno približavaju središnjoj liniji i udaljuju od nje. Mijene glasa manifestiraju se kroz tri temeljne osobine :

- u tonu
- jakosti
- boji

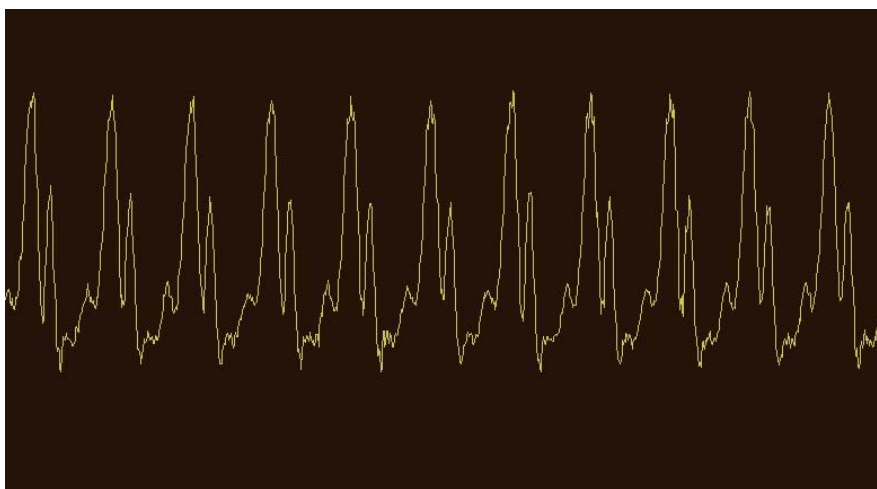
Osim ovih, temeljnih osobina postoje i dvije dodatne mijene glasa, a to su:

- količina šuma u glasu
- načini započinjanja glasa (meki i tvrdi početak).

Ton je visina glasa i ovisi o brzini titranja glasnice na koju utječe debljina, dužina, napetost

glasnica, te tlak zraka koji prolazi između njih. Postoji i osnovni laringealni ton (F_0) koji nije čujan, ali se na njega naslanja govorni zvuk. Osnovni laringealni ton nastaje uslijed relaksacijskog titranja glasnica i modulacije zračne struje, a sastoji se od osnovnog tona i niza harmoničnih tonova koji rastu s povećanjem intenziteta. Što glasnice brže vibriraju viša je i vrijednost fundamentalne frekvencije i glas percipiramo kao viši. Na vrijednost F_0 utječu dob, spol, tjelesna konstitucija, različita oštećenja larinksa, neurološki poremećaji, endokrini poremećaju, opće zdravstveno stanje i sl.

10.5. PERTURBACIJE GLASA



Slika 70. Zvuk titranja glasnica na oscilogramu

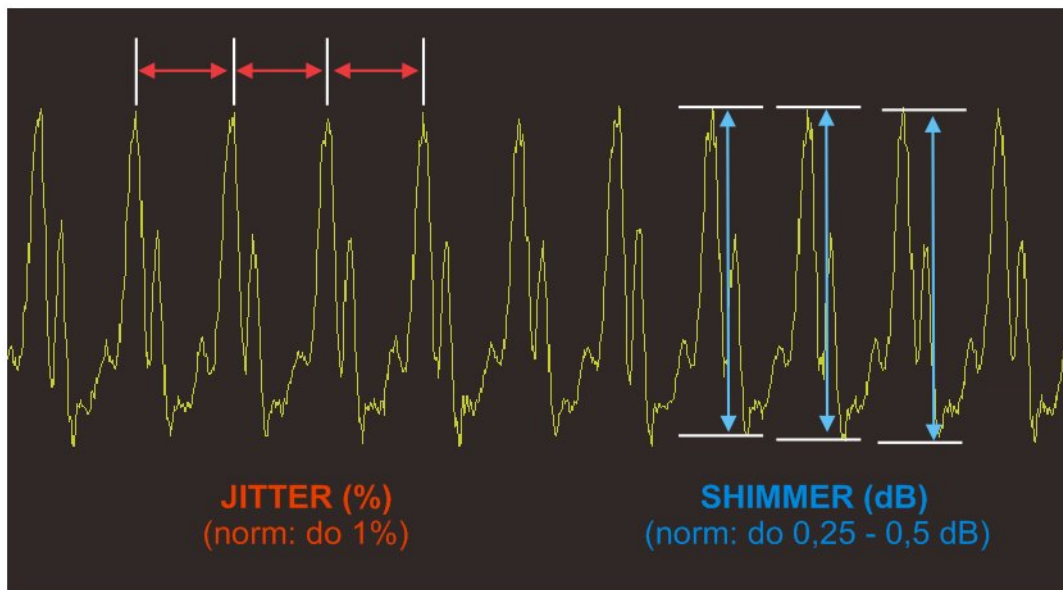
10.5.1. JITTER I SHIMMER

Neka istraživanja u vremenskoj analizi ukazuju da se kod nekih govornih poremećaja javljaju promjene koje se uočavaju prilikom analize valnih oblika titranja glasnica. Mikro varijacije (perturbacije) glasa nije moguće zamijetiti slušanjem već se uočavaju akustičkom analizom oscilograma fonacije vokala.

Jitter je termin koji se odnosi na mikro nepravilnosti u brzini vibracija glasnica, odnosno varijacije frekvencije osnovnog laringealnog tona. Jitter se može izražavati u različitim mjernim jedinicama i na više načina a najčešće se izražava kao prosječno odstupanje u brzini titranja glasnica u postocima. Normalne vrijednosti jittera dopuštaju odstupanje do 1% (npr. ako je $F_0 = 100$ Hz, jitter će iznositi oko 1 Hz). Povišeni jitter manifestirat će se kao glas lošije kvalitete a manja vrijednost jittera daje kvalitetniji glas kojemu je intonacija čišća.

Shimmer se odnosi na intenzitetsku nepravilnost, odnosno fluktuaciju amplitude zvučnog signala. Shimmer je brzo kolebanje amplituda i najčešće se izražava u decibelima Normalna

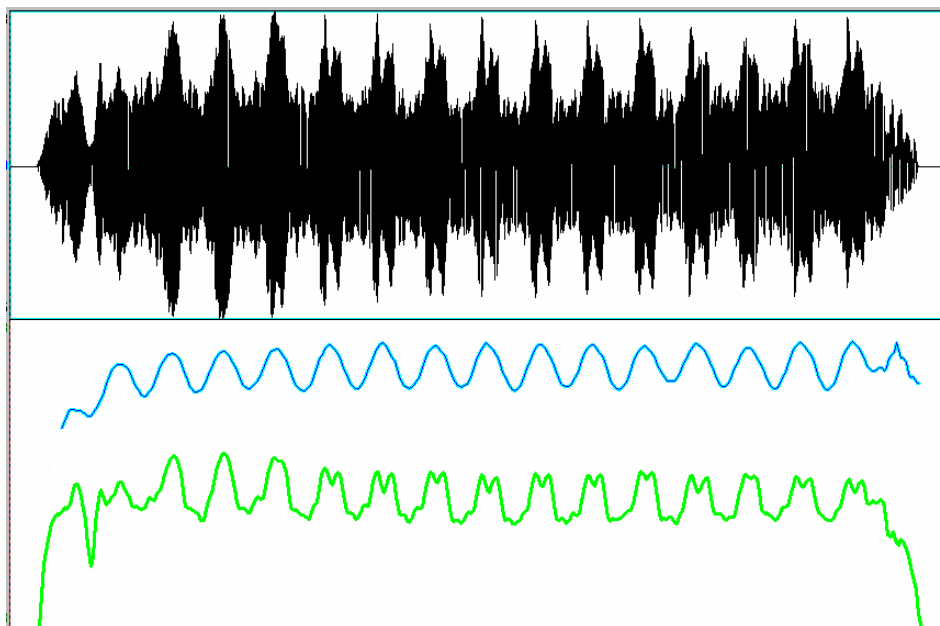
vrijednost shimmera dopušta kolebanja do 0.35 dB a povišene vrijednosti u govornom glasu percipiramo kao promuklost.



Slika 71. Prikaz jittera i shimmera na oscilogramu

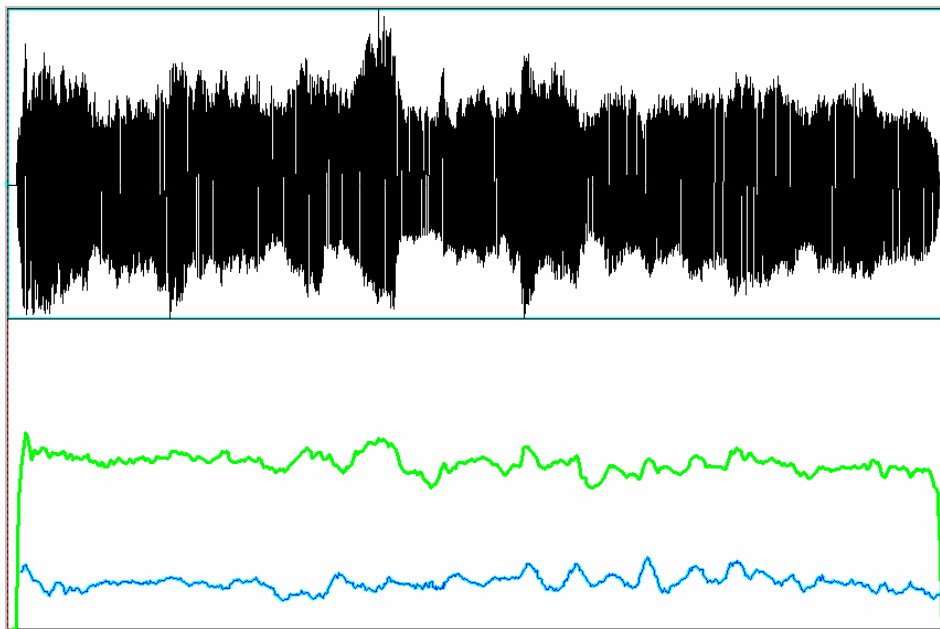
10.5.2. VIBRATO I TREMOR

Vibrato je specifično podrhtavanje glasa, odnosno prisutnost malih promjena intenziteta i frekvencije osnovnog laringealnog tona. Frekvencijske i intenzitetske modulacije moraju biti pravilne. Frekvencijske modulacije u prosjeku iznose 4 do 6 Hz, a intenzitetske oko 9 dB. U pjevanju je vibrato poželjna osobina glasa.



Slika 72. Vibrato u pjevanju

Tremor bismo mogli opisati kao "loš" vibrato koji doživljavamo kao nepoželjno i nepravilno podrhtavanje glasa. U tremoru se također javljaju frekvencijske modulacije u opsegu 4 – 6 Hz ali su one nestabilne kao i varijacije intenziteta. Tremor može ukazivati na neurološku etiologiju (npr. kod Parkinsonove bolesti, cerebralne paralize i sl.) ili na stres (podrhtavanje glasa pod utjecajem anksioznosti straha i sl.

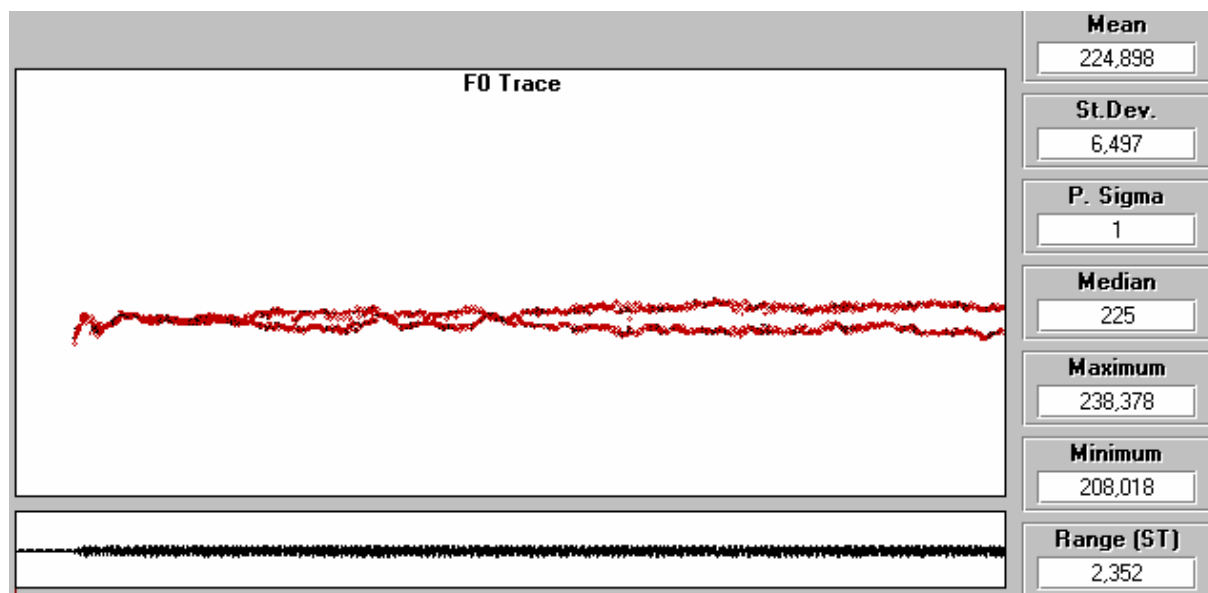


Slika 73. Tremor u glasu (amplituda - zelena a fundamentalna frekvencija – plava linija)

10.5.3. DIPLOFONIJA

Termin diplofonija označava "dvoglasje" – dvostruki glas. Diplofoničan glas se sastoji od dva glasa različitih frekvencija koji se javljaju istovremeno. Ponekad se diplofoničan glas može producirati tako da jedna glasnica titra jednom a druga glasnica drugačijom frekvencijom. Kao primjer, diplofonija se može javiti kod unilateralnog polipa glasnice. Zdrava glasnica vibrirat će normalnom frekvencijom, dok glasnica sa polipom vibrira mnogo sporije i proizvodi nižu frekvenciju. Uzroci diplofonije mogu biti različiti kao npr.: laringealna opna (diaphragma laryngis), paraliza glasnica, simultane vibracije ventrikularnih nabora i pravih glasnica i sl. Kongenitalna laringealna opna ili diaphragma laryngis je fibrozna ili membranozna opna koja u različitom stupnju zatvara rimu glotisa. Diplofoniju je moguće proizvesti i s normalnim glasnicama.

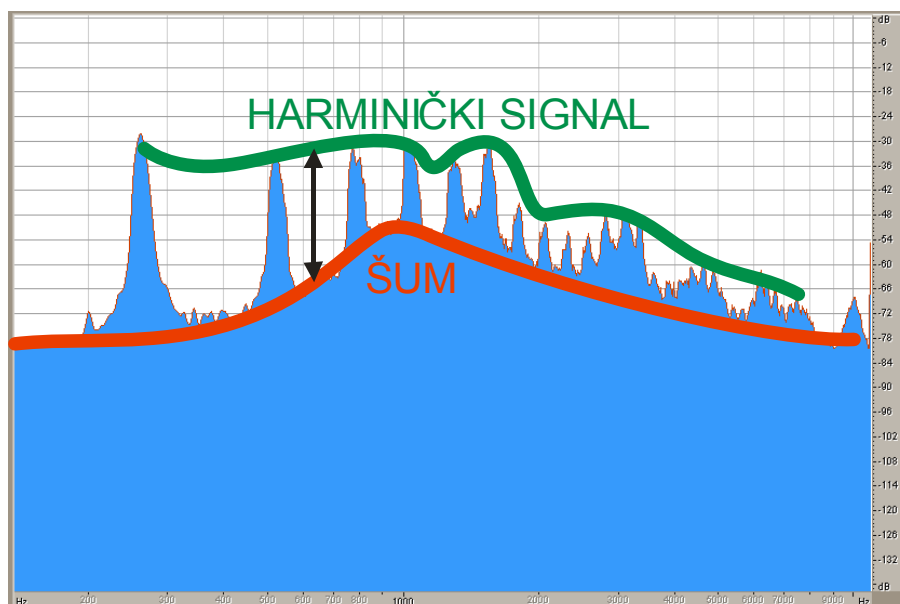
Tretman diplofonije ima za cilj otklanjanje uzroka drugog glasa. Ponekad se kirurškim zahvatom (npr. odstranjenjem polipa ili laringealne dijafragme) eliminira i diplofonija. Češće se diplofonija otklanja glasovnom terapijom što se postiže redukcijom hiperfunkcije ili laringealne tenzije zbog koje nastaje drugi ton.



Slika 74. Diplofonija u glasu

10.6. HNR OMJER

U fonaciji se često mjeri parametar koji pokazuje kolika je razlika između prosječne vrijednosti harmonijskog dijela spektra i razine šuma (HNR – harmonics to noise ratio). Uobičajeno se izražava kao vrijednost (razlika) izražena u decibelima. Što je razlika veća, glas je kvalitetniji i čišći. Smatra se da razlika u normalnom glasu mora iznositi najmanje 10 do 12 dB. Vrijednost ispod 10 dB ukazuje da u glasu ima puno šuma što može ukazivati na poremećaj glasa odnosno patologiju.



Slika 75. Omjer (odnos) signal/šum (HNR – Harmonics/Noise Ratio)

11. LITERATURA

1. Allen, J. (1976). Synthesis of speech from unrestricted text. *Proceedings of the IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineering)*, 64, 433-442.
2. Američko psihijatrijsko društvo (1998). *DSM-IV dijagnostički i statistički priručnik za duševne poremećaje*. Naklada Slap, Jastrebarsko.
3. American Speech Language Hearing Association - ASHA (1996). Central auditory processing: current status of research and implications for clinical practice. *Am J Audiol*, 5. 41.
4. American Speech Language Hearing Association - ASHA (2005). (Central) Auditory Processing Disorders. Technical Report. www.asha.org/policy.
5. Bamiou, D. E, Musiek, F. E., Luxon, L. M. (2001). Etiology and clinical presentations of auditory processing disorders -a review. *Arch Dis Child*,85.361-365.
6. Barić, E., Lončarević, M., Malić, D., Pavešić, S., Peti, M., Zečević V, i Znika, M. (1979). *Priručna gramatika hrvatskoga književnog jezika*. Školska knjiga, Zagreb.
7. Bell-Berti, F., Hariss K. S. (1982). Temporal patterns of coarticulation: Lip rounding. *Journal of the Acoustical Society of America*, 71, 449-454.
8. Bellis, T. J. (2006). *Audiologic Behavioral Assessment of APD. U: An Introduction to Auditory Processing Disorders in Children* (Ed: Parthasarathy, T. K.). Lawrence Erlbaum Associates, Publishers. Mahwah, New Jersey.
9. Bellis, J. (2003). *Assesment of Central auditory Processing Disorders int he educational setting -From sceince to practice .2 nd edition*. Thomas Delmar Learning,2003.532.
10. Bernthal, J. E., Bankson, N. W. (1984). *Phonologic disorders: An Overview. U: Speech Disorders in Children*. (Ed.: Costello, J.), College-Hill Press, San Diego, 3 - 24.
11. Bhatnager, i sur. (1989). The Effect of Thalamic Stimulation in Processing of Verbal Stimuli in Dichotic Listening Tasks: A Case Study. *Brain and Language*, vol. 36, 2, 236 - 251.
12. Bishop, D. V. M., McArthur, G. M. (2005). Individual differences in auditory processing in specific language impairment: A follow-up study using eventrelated potentials and behavioral thresholds. *Cortex*, 41, 327-341.
13. Busby, P. A., Tong, Y. C., Clark, G. M. (1988). Underlying Structure of Auditory-Visual Consonant Perception by Hearing-Impaired Children and the Influences of Syllabic Comprehension. *Journal of Speech and Hearing Research*, vol. 31, 2, 156 - 165.
14. Calvert, D. R. (1980). *Descriptive Phonetics*. Brain C. Decker, Division Thieme-Stratton, Inc., New York, 1980.
15. Chermak, G. D., Bellis, T. J., Musiek, F. E. (2007). *Neurobiology, Cognitive Science, and Intervention. U: Hanbook of (Central) Auditory Processing Disorder: Volume II - Comprehensive Intervention*. Plural Publishing Inc., San Diego.
16. Chermak, G. D., Musiek, F. E (1997). *Central auditory processing disorders :new perspectives*. San Diego:Singular Publishing Group.
17. Ciocci, S. R. (2002). *Auditory Processing Disorders: An Overview*. Posjećeno 03.10.2011. na stranici ERIC digests: <http://www.ericdigests.org/2003-5/auditory.htm>
18. Cole, E., Paterson, M. M. (1984). *Assessment and Treatment of Phonological Disorders in the Hearing Impaired. U: Speech Disorders in Children*. (Ed.: Costello, J.), College-Hill Press, San Diego, 93 - 128.
19. Compton, A. J. (1970). *Generative Studies of Children's Phonolglal Disorders*. *Journal of*

Speech and Hearing Disorders, vol. 35, 315 - 339.

20. Čemalović-Boko, Z. (1983). Poremećaji govora i jezika kao izraz cerebralne disfunkcije u dječjoj dobi. Doktorska disertacija, Medicinski fakultet, Zagreb.
21. Dejonckere, P. H. (1990). Turbulence noise and aperiodicity in the pathological voice. A multifactorial approach. *Revue de Laryngologie*.
22. Desnica - Žerjavić, N. (1982). Slušanje glasova govora na uskoj diskontinuiranoj formi u usporedbi sa slušanjem na uskoj kontinuiranoj formi. Magistarski rad, Filozofski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
23. Draper, M. H., Ladefoged, P., Whitteridge, D. (1959). Respiratory muscles in speech. *Journal of Speech and Hearing Research*, 2, 16-17.
24. Edwards, M. L. (1983). Issues in Phonological Assessment. *Seminars in Speech and Language*, vol. 4, 4, 351 - 373.
25. Fahey, K. (2005). Auditory vs Language Processing Disorder. Posjećeno 06.04.2010. na mrežnoj stranici: <http://www.audiologyonline.com/default.asp>
26. Faircloth, M., Faircloth, S. (1970). An Analysis of the Articulation Behavior of a Speech Defective Child in Connected Speech and Isolated Word Responses. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, vol. 35, 1, 51 - 61.
27. Fant, G. (1980). The relations between area functions and the acoustic signal. *Phonetica*, 37, 55-86.
28. Flexer, C. (1999). Facilitating hearing and listening in young children. 2nd edition. Singular, San Diego.
29. Fuente, A, Mc Pherson, B. (2006). Auditory processing tests for Spanish-speaking adults: An initial study. *International Journal of Audiology*, 45, 645-659.
30. Galić-Jušić, I. (2004). Djeca s teškoćama u učenju. Ostvarenje, Lekenik.
31. Gauffin, J., Sundberg, J. (1989). Spectral correlates of glottal voice source wave-form characteristics. *Journal of Speech and Hearing Research*, 32, 556-565.
32. Gertner, A. B. (2003). Auditory Processing Disorders Facts. Department of communication disorders & deafness. Posjećeno 02.10.2011. na stranici: <http://agertner.homestead.com/page5.html>
33. Harrington, J. (1987). Coarticulation and stuttering: an acoustic and electropalatographic study. U: *Speech motor dynamics in stuttering* (ed.: Peters, H. F. M., Hulstijn, W.). Springer-Verlag, Wien, 381 - 392.
34. Hassall, J. R., Zaveri, K. (1988). *Acoustic Noise Measurements*. K. Larsen & Son, Glostrup.
35. Heđever, M. (1992-a). Koartikulacija kod dislalija. Istraživanja na području defektologije - IV, Zagreb, str. 45 (sažetak).
36. Heđever, M. (1992-b). Poremećaji artikulacije glasova i njihovi međusobni odnosi. Magistarski rad. Fakultet za defektologiju, Sveučilište u Zagrebu.
37. Heđever, M., (1996). Akustička analiza vremenskih segmenata normalnog i poremećenog govora. Doktorska disertacija. Fakultet za defektologiju, Sveučilište u Zagrebu.
38. Heđever, M. (2008). Audio-test. (instrument za ispitivanje sluha). Tara centar, Zagreb.
39. Heđever, M., Bonetti, A. (2010). Ispitivanje poremećaja slušnog procesiranja pomoću filtriranih riječi kod učenika nižih razreda osnovne škole. *Hrvatska revija za rehabilitacijska istraživanja*. 46 (2010), 2; 50-60

40. Heđever, M., Kovačić, G. (1997). Akustika glasa i govora. Skripta za kolegij Govorna akustika za studente logopedije Edukacijsko-rehabilitacijskog fakulteta u Zagrebu.
41. Hixon, T., Goldman, M., Mead, J. (1973). Kinematics of the chest wall during speech production: Volume displacements of the rib cage, abdomen and lung. *Journal of Speech and Hearing Research*, 16, 78-115.
42. Hixon, T., Mead, J., Goldman, M. (1976). Dynamics of the chest wall during speech production: Function of the thorax, rib cage, diaphragm, and abdomen. *Journal of Speech and Hearing Research*, 19, 297-356.
43. Hoff, A. (2006.). High fidelity musician's filters and auditory. Washington State University: Department of Speech and Hearing Sciences.
44. Holmes, J. N. (1983). Formant synthesizers: Cascade or parallel? *Speech Communication*, 2, 251-273.
45. Horga, D. (1988). Perceptivni spektar glasova. *Defektologija*, vol. 24, 1, Zagreb, 17 - 41.
46. Houtgast, T., Steeneken, H. J. M. (1985). The Modulation Transfer Function in Room Acoustics. *Technical Review*, 3, Naerum, 1985, 3 - 12.
47. Hughes, F. L. (1978). Effects of Response Modes Upon Dichotic Consonant-Vowel Identification Latency. *Brain and Language*, vol. 5, 3, 1978, 301 - 309.
48. Humes, L. E., Boney, S., Loven, F. (1978). Further Validation of Speech Transmission Index (STI). *Journal of Speech and Hearing Research*, vol. 30, 3, 403 - 410.
49. Ingram, D. (1983). The Analysis and Treatment of Phonological Disorders. *Seminars in Speech and Hearing*, vol. 4, 4, 375 - 387.
50. Ishizaka, K., Flanagan, J. L. (1972). Synthesis of voiced sounds from a two-mass model of the vocal cords. *Bell System Technical Journal*, 51, 1233-1268.
51. Ivičević-Desnica, J., Šikić, N. (1989). Neurogena osnova artikulacijskih poremećaja. *Acta Defektologica*, god.7,1-2, Priština, 141 - 148.
52. Jaffe, M. B. (1984). Neurological Impairment of Speech Production: Assessment and Treatment. U: *Speech Disorders in Children*. (Ed.: Costello, J.), College-Hill Press, San Diego, 157 - 186.
53. Jakobson, R., Halle, M. (1988). *Temelji jezika*. Globus, Zagreb.
54. Jelaković, T. (1978). *Zvuk. Sluh. Arhitektonska akustika*. Školska knjiga, Zagreb.
55. Kelso, J. A. S., Saltzman, E. L., Tuller, B. (1986). The dynamical perspective on speech production: Data and theory. *Journal of Phonetics*, 14, 29-59.
56. Kenney, K. W., Prather, E. M. (1986). Articulation Development in Preschool Children: Consistency of Production. *Journal of Speech and Hearing Research*, vol. 29, 1, 29 - 36.
57. Kenney, K. W., Prather, E. M., Mooney, M., Jeruzal, N. (1984). Comparison Among Three Articulation Sampling Procedures With Preschool Children. *Journal of Speech and Hearing Research*, vol. 27, 2, 226 - 231.
58. Kent, R. D., Atal, B. S., Miller, J. L. (1991). *Papers in speech communication: Speech production*. Acoustical Society of America, Woodbury, New York.
59. Kent, R. D., Minife, F. D. (1977). Coarticulation in recent speech production models. *Journal of Phonetics*, 5, 115-133.
60. Klatt, D. H. (1987). Review of text-to-speech conversion for English. *Journal of the Acoustical Society of America*, 82, 737-793.

61. Klatt, D. H., Klatt, L. C. (1990). Analysis, synthesis and perception of voice quality variations among female and male talkers. *Journal of the Acoustical Society of America*, 87, 820-857.
62. Kovačić, G. (1997). Akustička obilježja boje glasa crne i bijele rase. Diplomski rad. Fakultet za defektologiju, Sveučilište u Zagrebu.
63. Kreiman, J., Van Lancker, D. (1988). Hemispheric Specialization for Voice Recognition: Evidence from Dichotic Listening. *Brain and Language*, vol. 34, 2, 246 - 252.
64. Kreiman, J., Van Lancker, D. (1988). Hemispheric Specialization for Voice Recognition: Evidence from Dichotic Listening. *Brain and Language*, vol. 34, 2, 246 - 252.
65. Kuehn, D. P., Moll, K. L. (1976). A cineradiographic study of VC and CV articulatory velocities. *Journal of Phonetics*, 4, 303-320.
66. Kurtović, H. (1985). Ozvučavanje. Tehnička knjiga, Beograd.
67. Lenček, M. (1994). Jezične sposobnosti u djece s teškoćama čitanja. Magistarski rad. Edukacijsko- rehabilitacijski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
68. Leonard, L. (1985). Unusual and Subtle Phonological Behavior in Speech of Phonologically Disordered Children. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, vol. 50, 1, 4 - 13.
69. Leonard, L., Schwartz, R., i sur. (1982). Early Acquisition in Children with Specific Language Impairment. *Journal of Speech and Hearing Research*, vol. 25, 554 - 564.
70. Leonard, L. (1985). Unusual and Subtle Phonological Behavior in Speech of Phonologically Disordered Children. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, vol. 50, 1, , 4 - 13.
71. Lindblom, B. (1963). Spectrographic study of vowel reduction. *Journal of the Acoustical Society of America*, 35, 1773-1781.
72. Lindblom, B. E. F., Sundberg, J. E. F. (1971). Acoustical consequences of lip, tongue, jaw and larynx movement. *Journal of the Acoustical Society of America*, 50, 1166-1179.
73. Lisker, L., Abramson, A. S. (1964). A cross-language study of voicing in initial stops: Acoustical measurements. *Word*, 20, 384-422.
74. Locke, J.L. (1980). The inference of speech perception in the phonologically disordered child. Part II: Some clinically novel procedures, their use, some findings. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 45, 445-468.
75. Lubker, J., Gay, T. (1982). Anticipatory labial coarticulation: Experimental, biological and linguistic variables. *Journal of the Acoustical Society of America*, 71, 437-448.
76. Malmberg, B. (1974). Fonetika. IP "Svjetlost", OOUR Zavod za udžbenike, Sarajevo.
77. McReynolds, L. V. (1986). Functional articulation disorders. U: *Human communication disorders* (Ed.: Shames, G. H. i Wiig, E. H.), Charles E. Merrill Publishing Company, A Bell & Howell Company, Columbus, 139 - 182.
78. McWilliams, B. J. 1984). Speech Problems Associated with Craniofacial. U: *Speech Disorders in Children*. (Ed.: Costello, J.), College-Hill Press, San Diego, 187 - 224.
79. Musiek, F.E. i Chermak, G.D. (2007). *Handbook of (central) auditory processing disorders: Auditori neuroscience and diagnosis. Volume 1.* Plural Publishing. San Diego.
80. Ohman, S. E. G. (1966). Coarticulation in VCV utterances: Spectrographic measurements. *Word*, 20, 384-422.
81. Ohman, S. E. G. (1967). Numerical model of coarticulation. *Journal of the Acoustical Society of America*, 41, 310-320.
82. Ostry, D., Munhall, K. (1985). Control of rate and duration of speech movements. *Journal of*

the Acoustical Society of America, 77, 640-648.

83. Panagos, J. (1974). Persistence of the Open Syllable Reinterpreted as a Symptom of language disorder. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, vol. 39, 1, 23 - 31.
84. Pappas, D. G. (1985). *Diagnosis and Treatment in Children*. Taylor & Francis, London.
85. Parush, A., Ostry, D. J. (1993). Lower pharyngeal wall coarticulation in VCV. *The Journal of Acoustical Society of America*, 94, 715 - 722.
86. Paul, R. G., Shriberg, L. (1982). Associations Between Phonology and Syntax in Speech-Delayed Children. *Journal of Speech and Hearing Research*, vol. 25, 536 - 547.
87. Randall, R. B., Hee, Jens. (1981). Cepstrum Analysis. *Technical Review*, 3, Naerum, 3 - 40.
88. Randall, R. B., Upton, R. (1978). Digital Filters and FFT Technique in Real-Time Analysis. *Technical Review*, 1, Naerum, 1978, 3 - 25.
89. Randall, R. B. (1987). *Frequency Analysis*. K. Larsen & Son, Glostrup.
90. Repp, B. H. (1978). Stimulus Dominance and Ear Dominance in the Perception of Dichotic Voicing Contrasts. *Brain and Language*, vol. 5, 3, 310 - 330.
91. Richards, G. J. (2001). The Source for Processing Disorders - Auditory & Language. East Moline, IL: LinguiSystems, Inc.
92. Rothenberg, M. (1973). A new ininverse-filtering technique for deriving the glottal air flow waveform during voicing. *Journal of the Acoustical Society of America*, 53, 1632-1645.
93. Ruscello, D. M. (1984). Motor Learning as a Model for Articulation Instruction. U: *Speech Disorders in Children*. (Ed.: Costello, J.), College-Hill Press, San Diego, 93 - 128.
94. Sachs, M. B. (1985). *Speech Encoding in the Auditory Nerve*. U: *Hearing Science* (Ed.: Berlin, C.), Taylor and Francis, London, 263 - 307.
95. Salihović N., Ibrahimagić A., Junuzović-Žunić L (2007). Poremećaji glasa i gutanja. Skripta. Univerzitet u Tuzli, Edukacijsko-rehabilitacijski fakultet
96. Schery, T. K. (1985). Correlates of Language Development in Language-Disordered Children. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, vol. 50, 1, , 73 - 83.
97. Schwartz, R., Cheryl, K., Messick, M., Pollock, K. (1983). Some Nonphonological Considerations in Phonological Assessment. *Seminars in Speech and Language*, vol. 4, 4, 335 - 348.
98. Schwartz, R. (1984). *The Phonologic System: Normal Acquisition*. U: *Speech Disorders in Children* (Ed.: Costello, J.), College-Hill Press, San Diego, 25 - 74.
99. Schwartz, R., Leonard, L., Folger, M., Wilcox, M. (1980). Early Phonological Behavior in Normal Speaking and Language Disordered Children: Evidence for a Synergistic View of Linguistic Disorders. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, vol. 45, 357 - 377.
100. Sharma, M., Purdy, S.C., Newall, P., Wheldall, K., Beaman, R., Dillon, H. (2006). Electrophysiological and behavioral evidence of auditory processing deficits in children with reading disorder. *Clinical neurophysiology* 117, 1130-1144
101. Shriberg, L. D., Kwiatkowski, J. (1988). A Follow-up Study of Children With Phonologic Disorders of Unknown Origin. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, vol. 53, 2, 144 - 155.
102. Shriberg, L. D., Kwiatkowski, M. A. (1983). Computer-Assisted Natural Process Analysis (NPA): Recent Issues and Data. *Seminars in Speech and Hearing*, vol. 4, 4, 389 - 405.
103. Shriberg, L., Kwiatkowski, J. (1982-a). Phonological Disorders I. A Diagnostic Classification System. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, vol. 47, 226 - 242.

104. Shriberg, L., Kwiatkowski, J. (1982-b). Phonological Disorders II. A Conceptual Framework for Management. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, vol. 47, 242 - 256.
105. Shriner, T., Hallowag, M., Daniloff, R. (1969). The Relationship Between Articulatory Deficits and Syntax in Speech Defective Children. *Journal of Speech and Hearing Research*, vol. 12, 319 - 325.
106. Smith, M. D. (1983). Fragile First Attempts at Articulation and Meaning. *Seminars in Speech and Language*, vol. 4, 4, 313 - 331.
107. Steeneken, H. J., Houtgast, T.(1985). RASTI: A Tool for Evaluating Auditoria. *Technical Review*, 3, Naerum, 13 -39.
108. Stevens, K. N., House, A. S. (1955). Development of a quantitative description of vowel articulation. *Journal of the Acoustical Society of America*, 27, 484-493.
109. Stollman, M. (2003). Auditory processing in children. A study of the effects of age, hearing impairment and language impairment on auditory abilities in children. Doctoral Dissertation, University of Nijmegen,149.
110. Sussman, H. M., MacNeilage, P. F., Hanson, R. J. (1973). Labial and mandibular dynamics during the production of bilabial consonants: Preliminary results. *Journal of Speech and Hearing Research*, 16, 397-420.
111. Šikić, N., Ivičević-Desnica, J.(1986). Prilog razlučivanju problema etiologije nerazvijenog govora. *Govor*, god. 4, 1, Zagreb, 71 - 86
112. Škarić, I. (1967). Artikulacijska optimala glasa. *Govor*, 1, Zagreb, 40 - 45.
113. Škarić, I. (1991). Fonetika hrvatskoga književnog jezika. U: Povijesni pregled, glasovi i oblici hrvatskoga književnog jezika (Ured.: Katičić, R.), Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti i "Globus" nakladni zavod, Zagreb, , 61 - 372.
114. Škarić, I. (1993). Prosječni spekter govora kao slika boje glasa. U: Zbornik prispevkov; 4. Strokovno srečanje logopedov Slovenije: Multidisciplinarni pristop v logopediji. Portorož, , 202 - 205.
115. Thrane, N. (1979). The Discrete Fourier Transform and FFT Analysers. *Technical Review*, 1, Naerum, , 3 - 25.
116. Titze, I. R., Talkin, D. (1979). A theoretical study of the effects of various laryngeal configurations on the acoustics of phonation. *Journal of the Acoustical Society of America*, 66, 60-74.
117. Treves, T., Goldsmidt, I., Korczyn, A. (1983). Development of Manual Laterality and Language Function. U: *Manual Specialization and the Developing Brain* (Ed.: Yong, Segalowitz, Corter, Trehub), Academic Press, New York, 395 - 403.
118. Van den Berg, J. (1958). Myoelastic-aerodynamic theory of voice production. *Journal of Speech and Hearing Research*, 1, 227-244.
119. Van den Berg, J., Zantema, T., Doornenbal, P. Jr. (1957). On the air resistance and the Bernoulli effect of the human larynx. *Journal of the Acoustical Society of America*, 29, 626-631.
120. Vladisavljević, S. (1977). Poremećaji govora u školske i predškolske dece. Savez društava defektologa Srbije, Beograd.
121. Vladisavljević, S. (1981). Poremećaji izgovora. Privredni pregled, Beograd.
122. Vladisavljević, S. (1989). Fonema u funkciji jezika. *Acta Defectologica*, vol. 7, 1-2, Priština, , 37 - 41.

123. Vuletić, D.(1987). Govorni poremećaji. Izgovor. Školska knjiga, Zagreb.
124. Vuletić, D., Ljubešić, M. (1984). Izgovor u dječaka i djevojčica. Defektologija, 20, 1-2, Zagreb, 41 - 50.
125. Weiner, F. F. (1984). A Phonologic Aproach to Assessment and Treatment. U: Speech Disorders in Children. (Ed.: Costello, J.), San Diego, 75 - 92.
126. Whitaker, M., A.. D. (2008). Auditory processing in the educational setting. Idaho State University. Fall conference. www.bbbautism.com/ (preuzeto dana 03.10.2011).
127. Winckel, F. (1968). Acoustical Foundations of Phonetics. U: Manual of Phonetics (Ed.: Malmberg, B.), North-Holland Publishing Companu, Amsterdam.
128. Worthington, D. W., Peters, J. F. (1984). Electrophysiologic Audiometry. U: Pediatric Audiology. (Ed.: Jerger, J.), College-Hill Pres, San Diego, 95 -124.

12. KAZALO POJMOVA

- abdomen, 99
- aerodimačka teorija, 102
- aerodinamičke sile, 102
- aerodinamički, 98
- akcelerometar, 40
- akustička analiza, 13
- akustička impedancija, 108
- akustička teorija govorne produkcije, 108
- akustička tuba, 108
- akustički filter, 108
- akustički filtri, 47
- Allen, 16
- alt, 129
- alveole, 99
- antirezonancija, 108
- aritenoidna hrskavica, 100
- artikulacija, 13
- artikulacijska sinteza, 16
- Atal, 98
- automatsko prepoznavanje govora, 14
- Awan, 128
- bariton, 129
- bas, 129
- bazalna visina glasa, 128
- Bell, 98, 99
- Bell-Berti, 122
- Berg, 102
- Bernouli-jev efekt, 102
- bijeli šum, 27
- boja glasa, 130
- Boone, 104
- Brzina širenja zvuka, 22
- brzina govora, 126
- brzina pokreta artikulatora, 126
- čisti ton, 25
- debljina glasnica, 101
- decibel, 24
- digitaliziranje govora, 15
- dijafragma, 99
- dinamički mikrofoni, 41
- dinamički opseg, 44
- direktivnost, 40
- disanje, 98
- Doornenbal, 102
- Draper, 98, 99
- dužina glasnica, 101
- dvodjelni model vibracije glasnica, 102
- ekspiracija, 99
- ekvalizator (equaliser - ekvalizer), 50
- elektroakustički filtri, 47

EMG, 98, 99, 122
Fabritius d'Aquapendente, 99
Fant, 108
filtri, 47
Flanagan, 102
fon, 71
fonacija, 13, 102, 103
formant, 108, 109
formantska sinteza, 16
fortissimo, 129
frekvencija, 19
frikcijska modulacija, 96
frikcijska modulacija, 115
fundamentalna frekvencija, 101
Gauffin, 103
Gay, 122
glasiljke, 96
glasnice, 98, 102, 103
glotis, 102, 109
glotogram, 103
Goldman, 99
govorna energija, 97
govorni čitači za slijepe, 15
govorni raspon, 129
grkljan, 103
habitualni intenzitet, 129
Hanson, 122
Hariss, 122
harmonici, 75, 111
harmoničan zvuk, 103, 108
hidrofon, 40
hipofarinks, 104
Hixon, 99
HMM - hidden Markov model, 14
Holmes, 16
House, 108
impedancija, 40
inspirij, 99
intenzitet (jakost) zvuka, 78, 98
interkostalni mišići, 98, 99
inverzno filtriranje, 103
Ishizaka, 102
Kelso, 126
Kent, 98, 122
kepstar, 103
Klatt, 16
koartikulacija, 121
kodiranje govora, 13, 15
komunikacijsko disanje, 99
kondenzatorski mikrofon, 41
konsonanti, 103
konzonanti, 75
kopirajuća sinteza, 16
krikoidna hrskavica, 100

kristalni mikrofoni, 40
 Kuehn, 126
 kvantiziranje, 15
 Ladefoged, 98, 99
 laringealni glas, 111
 laringofon, 40
 larinks, 101, 103
 Lindblom, 108
 Linear source-filter theory, 108
 linearna izobličenja, 39
 linearna izobličenja, 40
 linerno prediktivno kodiranje, 14
 linijski frekvencijski spektar, 102, 103
 long-term, 99
 Lubker, 122
 MacNeilage, 122
 maksimalno vrijeme fonacije, 98
 Malmberg, 130
 Markovljevi model, 14
 McReynolds, 121
 Mead, 99
 mezzosopran, 129
 mijene glasa, 130
 mikrofoni, 40
 Miller, 98
 Minifie, 122
 mioelastična teorija, 102
 mioelastično-aerodinamička teorija, 102
 modulacija, 96
 modulacija glasnicama, 96, 103
 modulacija rezonatorskim šupljinama, 96
 modulacija trenjem, 96
 Moll, 126
 motorna kontrola, 122
 Mueller, 128
 multifonske jedinice, 16
 Munhall, 126
 naglasak, 126
 nazofarinks, 104
 Neke pojave kod širenja zvuka, 39
 nelinearna izobličenja., 39, 40
 niskopropusni filter, 48
 numerički model koartikulacije, 122
 određivanje karakteristika filtra, 49
 ogib zvuka (difrakcija), 39
 Ohman, 122
 okluzivi, 75
 Oktava, 73
 oralno-glasovni govor, 96
 orofarinks, 104
 osjetljivost, 40
 osnovni laringealni ton, 101, 103
 Ostry, 122, 126
 Owens, 100

parametarski ekvalizator, 51
Parush, 122
pianissimo, 129
pjevački raspon (dijapazon), 129
pluća, 97
pojasni propusni/zaporni filter, 49
polarni dijagram, 42
Posebne izvedbe filtera, 50
povišeni glas, 129
prasad, 27
prepoznavanje govora, 13
prijenosni opseg, 40
procesiranje govora, 15
prozodija, 14, 126
prsni koš, 99
kvantizacija, 15
Rabiner, 14
razina intenziteta (IL - intensity level), 23
razina zvučnog tlaka (SPL), 23
razumljivost, 75
referentni zvučni intenzitet, 22
referentni zvučni tlak, 23
refleksija, 39
respiracija, 13, 98, 99, 102
respiracija, 96
respiratorna muskulatura, 99
respiratorni sustav, 98, 99
rezidualni ton, 101
reziduum, 101
rezonancija, 13, 111
rezonatori, 96, 108, 111
Rothenberg, 103
ružičasti šum, 27
Saltzman, 126
samoglasnici, 75
sampling, 15
selektivnost, 49
short-term, 99
sintetički govor, 15, 16
sintetiziranje govora, 13
složeni zvuk, 26
slušalice, 47
snaga i dinamika, 75
son, 71
sopran, 129
start-stop modulacija, 96, 115
Start-stop modulacija, 115
Stetson, 98, 99
Stevens, 108
subglotički tlak, 99, 101, 102
suglasnici, 75
suizgovor, 121
Sundberg, 103
Sussman, 122

Škarić, 13, 104
šum, 27
Talkin, 101
tenor, 129
tiroidna hrskavica, 100
Titze, 101
ton-blenda (lepeza), 50
tremor, 133
tro-parametarski model, 108
Tuller, 126
ultrazvuk, 122
usna šupljina, 104
usta, 108
uzorkovanje, 15
valna duljina, 25
Van de Berg, 102
vegetativno disanje, 99, 100
vertikalni val, 102
vibracija glasnica, 102
vibrato, 132
visina glasa, 128, 129
visokopropusni filter, 48
vitalni kapacitet pluća, 98
vokali, 75, 103
vokalni trakt, 98, 108
vrste zvukova, 25
Whitteridge, 98, 99
Zantema, 102
zračna struja, 98
zračni tlak, 99
zračni val, 96, 98
zvučnici, 45