

Subjektivne metode vrednovanja ugođenosti digitalnih slušnih pomagala

Šušković, Davor

Doctoral thesis / Disertacija

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:168:519172>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

[FER Repository - University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing repository](#)





Sveučilište u Zagrebu
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DAVOR ŠUŠKOVIĆ

**SUBJEKTIVNE METODE VREDNOVANJA
UGOĐENOSTI DIGITALNIH SLUŠNIH POMAGALA**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2021.



Sveučilište u Zagrebu
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DAVOR ŠUŠKOVIĆ

**SUBJEKTIVNE METODE VREDNOVANJA
UGOĐENOSTI DIGITALNIH SLUŠNIH POMAGALA**

DOKTORSKI RAD

Mentor : Prof. dr. sc. Siniša Fajt

Zagreb, 2021.



University of Zagreb
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMPUTING

DAVOR ŠUŠKOVIĆ

**SUBJECTIVE METHODS FOR EVALUATING
FINE-TUNING OF DIGITAL HEARING AIDS**

DOCTORAL THESIS

Supervisor : Professor Siniša Fajt, PhD

Zagreb, 2020

Doktorski rad izrađen je na Sveučilištu u Zagrebu Fakultetu elektrotehnike i računarstva, na
Zavodu za elektroakustiku i u Microton d.o.o.

Mentor: Prof. dr. sc. Siniša Fajt

Doktorski rad ima: 113 stranica

Doktorski rad br.: _____

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
1.1. SLUŠNA POMAGALA.....	2
1.1.1. DIGITALNA SLUŠNA POMAGALA.....	6
1.2. TONSKA AUDIOMETRIJA.....	20
1.3. GOVORNA AUDIOMETRIJA.....	22
1.4. RAZUMIJEVANJE GOVORA.....	24
1.4.1. UMANJENA SLUŠNOST.....	24
1.4.2. UMANJENO PODRUČJE DINAMIKE.....	26
1.4.3. UMANJENA RAZLUČIVOST FREKVENCIJA.....	26
1.4.4. UMANJENA RAZLUČIVOST USLIJED MASKIRANJA.....	27
1.5. FM SUSTAVI.....	28
1.6. UGAĐANJE SLUŠNIH POMAGALA.....	31
1.6.1. OSNOVNE INFORMACIJE O KORISNIKU.....	31
1.6.2. ODABIR SLUŠNIH POMAGALA.....	33
1.6.3. UGAĐANJE SLUŠNIH POMAGALA.....	36
1.6.4. POSTAVLJANJE KONTROLE KORISNIKA.....	40
2. OVISNOST GOVORNE RAZUMLJIVOSTI O FREKVENCIJSKOM PODRUČJU DOMINANTNOG GUBITKA SLUHA.....	42
2.1. FREKVENCIJSKO PODRUČJE DOMINANTNOG GUBITKA SLUHA.....	42
2.2. CILJ I METODE ISTRAŽIVANJA.....	43
2.3. ANALIZA REZULTATA.....	62
2.3.1. USPOREDBA REZULTATA S REZULTATOM KOD NAGLUHIH OSOBA.....	64
2.3.2. DISKUSIJA REZULTATA.....	67
3. TONSKA AUDIOMETRIJA VEĆE RAZLUČIVOSTI.....	69
3.1. ODABIR FREKVENCIJA ZA TONSKU AUDIOMETRIJU VEĆE RAZLUČIVOSTI I DEFINIRANJE ISPITNIH UVJETA.....	70
3.2. REZULTATI ISPITIVANJA TONSKE AUDIOMETRIJE VEĆE RAZLUČIVOSTI.....	72
3.3. DISKUSIJA REZULTATA.....	75
4. PRIJEDLOG LISTE LOGATOMA ZA GOVORNU AUDIOMETRIJU.....	77
4.1. SNIMANJE I OBRADA SNIMKE.....	77

5. PRIJEDLOG PRECIZNOG UGAĐANJA SLUŠNIH POMAGALA ZA POBOLJŠANJE RAZUMIJEVANJA GOVORA.....	79
5.1. CILJ I METODE ISTRAŽIVANJA.....	79
5.2. REZULTATI ISTRAŽIVANJA.....	80
5.3. DISKUSIJA REZULTATA.....	87
6. ZAKLJUČAK.....	88
SAŽETAK.....	89
LITERATURA.....	90
PRILOG A.....	93

Prof. dr. sc. Siniša Fajt rođen je 29. kolovoza 1963. godine u Zagrebu. Hrvatske je narodnosti i državljanin Republike Hrvatske.

Osnovnu i srednju školu (EOC "Boris Kidrič") završio je u Zagrebu. Diplomirao je 1989. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu, na smjeru Radiokomunikacije i profesionalna elektronika, iz područja digitalne audiotehnike. Magistrirao je 1994. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu iz područja elektroakustike za koji je nagrađen Srebrnom plakatom "Josip Lončar", a doktorirao je 2000. godine na Zavodu za elektroakustiku Fakulteta elektrotehnike i računarstva u Zagrebu iz područja elektroakustike.

U poduzeću RIZ-INFOTEHNA zaposlio se 1990. godine, gdje je radio u okviru Servisnog odjela kao voditelj organizacije i praćenja servisne mreže audio i video tehnike. Na Zavodu za elektroakustiku Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu zaposlio se 1992. godine, kao znanstveni novak/zavodski suradnik (mladi istraživač). U suradničko zvanje asistenta, na Zavodu za elektroakustiku Fakulteta elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, izabran je 1997. godine na grupi predmeta "Tonfrekvencijska i prijemnička tehnika", a 2000. godine izabran je za višeg asistenta na grupi predmeta "Akustika i elektroakustika" i "Tonfrekvencijska i prijemnička tehnika". U znanstveno-nastavno zvanje znanstvenog suradnika - docenta na Zavodu za elektroakustiku Fakulteta elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, izabran je 20. svibnja 2003. godine na grupi predmeta "Akustika i elektroakustika". U znanstveno zvanje viši znanstveni suradnik izabran je 5. rujna 2006. U znanstveno-nastavno zvanje izvanrednog profesora u području tehničkih znanosti, polje: elektrotehnika, grana: radiokomunikacije na Fakultetu elektrotehnike i računarstva izabran je 11. veljače 2008., a ponovno izabran 18. ožujka 2013. U znanstveno-nastavno zvanje redovitog profesora u području tehničkih znanosti, polje: elektrotehnika, na Fakultetu elektrotehnike i računarstva izabran je 27. veljače 2018.

Prof. dr. sc. Siniša Fajt aktivno je bio uključen u znanstveno-istraživački rad na projektu Ministarstva znanosti i tehnologije Republike Hrvatske 205249 "Procesiranje tonfrekvencijskog signala u radiokomunikacijama", prvo kao znanstveni novak, a zatim kao istraživač na projektu. Kao istraživač radio je na projektu Ministarstva znanosti i tehnologije Republike Hrvatske 036012 "Procesiranje akustičkog signala u radiokomunikacijama". Radio je kao istraživač na projektu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske 0036011 "Procesiranje i ocjenjivanje akustičkog signala u komunikacijama" i kao konzultant na projektu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske 0108041 "Utjecaj

vestibularnog osjetila na ugradnju umjetne pužnice”, kao istraživač na projektima 227-2271694-1699 "Analitički model praćenja novih obrazovnih tehnologija", 036-0361630-1633 "Predviđanje, motrenje i zaštita od buke" i sudjelovao je na projektu COST Action 292 Semantic Multimodal Analysis of Digital Media. Bio je voditelj projekta 1985220 Sveučilišta u Zagrebu „Vrednovanje kvalitete multimedijjskih edukacijskih prostora i sustava”. Sudjeluje na projektu IP-218-01-6363 Razvoj toplinskih svojstava inteligentne odjeće (ThermIC) Hrvatske zaklade za znanost

Za istaknuti magistarski rad dodijeljena mu je Srebrna plaketa "Josip Lončar".

Professor Siniša Fajt, PhD, was born on August 29, 1963, in Zagreb. He is a citizen of the Republic of Croatia.

He completed elementary and secondary school (EOC "Boris Kidrič") in Zagreb. He graduated in 1989 from the Faculty of Electrical Engineering in Zagreb, in the direction of Radio communication and professional electronics, in the field of digital audio technology. He received his master's degree in 1994 from the Faculty of Electrical Engineering in Zagreb in the field of electroacoustics for which he was awarded the Silver Plaque "Josip Loncar", and received his Doctorate in 2000 from the Department of Electroacoustics of the Faculty of Electrical Engineering and Computing in Zagreb in the field of electroacoustics.

He joined RIZ-INFOTEHNA in 1990, where he worked within the Service Department as head of the organization and monitoring of the audio and video technology service network. In 1992, he joined the Department of Electroacoustics at the Faculty of Electrical Engineering in Zagreb, as a research fellow (young researcher). In 1997 he was elected to the associate title of assistant, at the Department of Electroacoustics of the Faculty of Electrical Engineering and Computing in Zagreb, on the group of subjects "Tonfrequency and receiving technique", and in 2000 he was selected as a senior assistant on the group of subjects "Acoustics and Electroacoustics" and "Tonfrequency and Receiving Technique". On May 20, 2003, he was elected to the scientific-teaching title of research associate - assistant professor at the Department of Electroacoustics at the Faculty of Electrical Engineering and Computing in Zagreb. On 5 September 2006, he was elected to the scientific title. He was elected to the scientific-teaching title of Associate Professor in the Field of Technical Sciences: Electrical Engineering, Branch: Radiocommunications at the Faculty of Electrical Engineering and Computing on 11 February 2008 and re-elected on 18 March 2013. On 27 February 2018 he was elected to the scientific-teaching title of full professor in the field of technical sciences: electrical engineering, at the Faculty of Electrical Engineering and Computing.

Prof. Dr. Sc. Siniša Fajt was actively involved in the scientific research work on the project of the Ministry of Science and Technology of the Republic of Croatia 205249 "Processing of tonfrequency signal in radiocommunications", first as a research fellow and then as a researcher on the project. As a researcher, he worked on the project of the Ministry of Science and Technology of the Republic of Croatia 036012 "Processing of acoustic signal in radiocommunications". He worked as a researcher on the project of the Ministry of

Science, Education and Sports of the Republic of Croatia 0036011 "Processing and evaluation of the acoustic signal in communications" and as a consultant on the project of the Ministry of Science, Education and Sports of the Republic of Croatia 0108041 "The influence of the vestibular sense on the implantation of cochlear implants", as a researcher on projects 227-2271694-1699 "Analytical model of monitoring of new educational technologies", 036-0361630-1633 "Prediction, observation and protection from noise" and "noise protection" and noise protection and noise protection. He participated in the PROJECT COST Action 292 Semantic Multimodal Analysis of Digital Media. He was the leader of the project 1985220 of the University of Zagreb "Evaluation of the quality of multimedia educational spaces and systems". Participates in ip-218-01-6363 Development of thermal properties of intelligent clothing (ThermIC) of the Croatian Science Foundation.

He was awarded the Silver Plaque "Josip Loncar" for his distinguished master's thesis.

Hvala...

Ivana, što si mi u svemu bezrezervna podrška. Hvala ti što se brineš za djecu i dom dok se ja zafrkavam s različitim aktivnostima.

Profesore, što ste me uvukli u ovu avanturu i omogućili mi da cijeli život rastem i radim na sebi.

Sažetak

Ubrzani razvoj tehnologije digitalnih slušnih pomagala omogućuje precizno ugađanje i prilagodbu različitim slušnim situacijama. Trenutno dostupna metoda tonske audiometrije nije prilagođena mogućnostima digitalnih slušnih pomagala koje je moguće puno preciznije ugoditi nego što to omogućuju standardni klinički audiometri.

Razvijen je audiometar s mogućnošću tonske audiometrije veće razlučivosti. Odabrano je ukupno 27 frekvencija na kojima se ispituje prag sluha. Uz standardnih 11 koje se mogu ispitivati kliničkim audiometrom, dodane su frekvencije na kojima se može vršiti ugađanje digitalnih slušnih pomagala s 20 kanala. Odabrano je 10 nagluhих osoba različite dobi i spola za ispitivanje. Usporedbom rezultata dviju audiometrija vidljivo je značajno odstupanje u iznosu od oko 15 dB u području između 1000 i 4000 Hz.

Predložena je lista logatoma za govornu audiometriju. Učinjeno je ispitivanje govorne razumljivosti uz osnovno i precizno ugađanje digitalnih slušnih pomagala. Precizno ugađanje digitalnih slušnih pomagala uključuje unos razlike između rezultata tonske audiometrije veće razlučivosti i rezultata tonske audiometrije na frekvencijama koje se u svakodnevnoj praksi provode u više od 60 % slučajeva.

Govornom audiometrijom listom logatoma utvrđeno je prosječno razumijevanje govora od 36 % za osnovno ugađanje i 56 % za precizno ugađanje. Porast razumijevanja govora prisutan je kod svakog od 10 ispitanika, a kreće se između 10 % i 30 %.

Ključne riječi:

sluh, gubitak sluha, slušna pomagala, tonska audiometrija, govorna audiometrija, ugađanje, precizno ugađanje, govorna razumljivost, prezbiakuzija, gubitak sluha uzrokovan bukom, tonska audiometrija visoke razlučivosti, logatomi

SUBJECTIVE METHODS FOR EVALUATING FINE-TUNING OF DIGITAL HEARING AID

ABSTRACT

Unfortunately, not everyone is lucky enough to have healthy ears and normal hearing. Some people's hearing is damaged due to certain trauma, some children are born deaf, and most people are hearing impaired due to the natural aging process of the ear or exposure to the noise. Science has managed to help people hear, after all. Imperfect, admittedly, but still enough to return the lost quality of life. Today it is possible to help hearing impaired people by using different hearing aids depending on the type of hearing loss. Hearing aids today, thanks to the technology of digital hearing aids, can help people to hear and understand better in almost all hearing situations, regardless of the direction of the sound source or the presence of noise.

The rapid development of digital hearing aid technology allows precise tuning and adaptation to different hearing situations. Digital hearing aids determine their calculation of the required gain across the entire frequency range by choosing a fitting formula that calculates the amount of amplification required primarily on the hearing threshold of hearing aid users.

Hearing aid fine-tuning allows you to change the gain in certain frequency areas - the hearing aid channels. It is possible to change the gain, separately for soft, medium and loudest sounds, as well as setting the maximum allowable gain so that the hearing aid does not become too loud and exceed the discomfort threshold or uncomfortable loudness level (UCL), but also so that the positive feedback does not cause the hearing aid to whistle unpleasantly.

It is possible to adjust each hearing program separately, that is, the mode of operation in each hearing situation that the hearing aid can recognize automatically or the user can select it himself. Also, in this step, all algorithms are adjusted, i.e. possibilities of hearing aids such as microphone directionality, noise suppression, algorithms for enabling listening to higher frequency sounds using frequency lowering methods etc.

The Audiogram of the hearing loss shows the level of hearing loss at certain frequencies. The audiogram is often characterized by larger or smaller drops according to a certain frequency range, depending on the hearing loss itself, but also on the resonant characteristics of the ear, especially the eardrum and the ear canal.

Three characteristic audiograms that appear relatively often in hard of hearing people are:

- a slightly descending curve with a drop of about 5-10 dB per octave, which is characteristic for presbycusis
- sharply descending or ski-sloping after a frequency of 1 kHz and with dominant hearing loss in the environment of a frequency of 4 kHz
- a cookie-bite characteristic with a dominant hearing loss in the middle frequencies

The research showed significant differences in speech intelligibility depending on the frequency range of dominant hearing loss. The largest deviation of speech intelligibility is 45%, between the audiogram curve that is common for noise-induced hearing loss and the cookie-bite audiogram curve, for words that are represented by voices of mostly medium frequencies.

The biggest deviation in the speech intelligibility of words represented by predominantly low-frequency voices is between the audiogram curve common in noise-induced hearing loss and the cookie-bite audiogram curve, and equals 35%.

The biggest deviation in the speech intelligibility of words represented by predominantly high-frequency voices is between the audiogram curve common in presbycusis and the other two audiogram curves, and equals 30%.

The highest overall speech intelligibility was achieved with the audiogram curve typical for noise-induced hearing loss and equals 87.41%, while the lowest speech intelligibility was achieved with the cookie-bite audiogram curve and equals 61.11%. Total speech intelligibility with audiogram curve typical for presbycusis equals 65.74%.

Using the statistical method Two-way repeated measures ANOVA, it was shown that there is a dependence between the obtained results of different subjects with a parameter P less than 0.0001 between different types of hearing loss, a parameter P of 0.000568 between

different groups of words and a parameter P less than 0.0001 for the connection between types of hearing loss and groups of words.

The results obtained in hard-of-hearing individuals with appropriate hearing levels show similar results with the highest absolute deviation of 4.08% and relative deviation of 4.67%.

Using the method of simulated hearing loss on the word list and testing with normal hearing people, we avoid possible cognitive factors, such as weaker attention and concentration and slower reaction time, which can affect the result of speech intelligibility in the elderly.

The currently available method of pure tone audiometry is not adapted to the capabilities of digital hearing aids, which can be adjusted much more precisely than only by the information given by standard clinical audiometers. An audiometer with the possibility of higher resolution tone audiometry has been developed. A total of 27 frequencies at which the hearing threshold is tested were selected. In addition to the standard 11 that can be tested with a clinical audiometer, frequencies at which 20-channel digital hearing aids can be tuned have been added.

By comparing the results obtained by higher-resolution tone audiometry at frequencies between those tested in everyday practice, significant deviations of up to about 15 dB can be seen compared to the approximate values when these frequencies are not tested.

Significant deviations are visible in all subjects, and the most common are in the area between 1 kHz and 2 kHz and in the area between 2 kHz and 4 kHz. The smallest deviations are in the area between 250 and 500 Hz.

Considering those results, next step is to fine-tune the hearing instruments with added or reduced amount of amplification of certain frequency bands depending on the deviations of the higher resolution tone audiometry results in them.

Precise tuning of digital hearing aids involves entering the difference between the results of higher resolution audiometry and the results of audiometry at frequencies that are performed in everyday practice in more than 60% of cases, namely 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz and 6000 Hz.

10 deaf people of different ages and genders were selected for the study. A comparison of the results of the two audiometries shows a significant deviation of about 15 dB in the range between 1000 and 4000 Hz.

A list of logatoms for speech audiometry has been suggested. Speech audiometry with the logatoms list excludes the possibility of guessing the words. This speech audiometry was used to test speech intelligibility with basic and precise tuning of digital hearing aids.

The average speech intelligibility after basic hearing aid fitting is 36%, and the average speech intelligibility after fine tuning is 56%, which is an increase of 20%.

In 4 subjects the increase was greater than 20%, in 3 subjects it was exactly 20%, and in 3 subjects it was less than 20%. An increase in speech understanding was achieved by all respondents, ranging from 10% to 30%.

The lowest measured speech intelligibility after basic tuning was 20% and was achieved by one subject, and the highest was 55%, also achieved by one subject.

The lowest speech intelligibility after precise tuning was 40% and was achieved by two subjects, and the highest was 70%, which was achieved by one subject.

In addition to the shown increase in speech intelligibility by fine-tuning the hearing aid according to more precise tone audiometry, the test subjects describe the sound after the fine-tuning as cleaner and more natural, and all rate such fine-tuning as better.

By fine-tuning the hearing aids as shown in the research, a significant increase in speech intelligibility was achieved in all subjects. Higher-resolution tone audiometry gives a good insight into the state of hearing loss at frequencies in the environment of dominant hearing loss. All the frequencies of the entire frequency range have an impact on speech intelligibility.

The method of speech audiometry using the logatom sheet showed uniform results in all subjects without major deviations.

Statistical analysis using the paired t-test method showed that there is a dependence between the results with a P value of 0.00000277 for *one-tail* and 0.00000554 for *two-tail* processing of the results.

An increase in speech intelligibility through the precision fine-tuning method can be expected in all users of hearing aids with a large number of channels. The possibility of increasing speech intelligibility in hearing aids with a number of channels between 10 and 20 remains to be investigated.

Keywords:

hearing, hearing loss, hearing aids, pure tone audiometry, speech audiometry, fitting, fine-tuning, speech intelligibility, presbycusis, noise induced hearing loss, high precision tone audiometry, logatome

1. UVOD

Uho je gotovo savršeni prijamnik zvuka. Ono je poput svojevrsnog mikrofona, samo što ga je priroda stvorila savšenijim nego što će čovjeku ikada uspjeti. Zapravo, ono je i više od prijamnika zvuka. Uho je i vrlo selektivan frekvencijski analizator, detektor smjera zvučnog izvora te indikator glasnoće, visine i boje tona. Opseg frekvencija koje čovjek može čuti kreće se od otprilike 20 Hz pa do 20 kHz, što je više od 10 oktava [1]. Za usporedbu, ljudsko je oko osjetljivo na frekvencije unutar samo jedne oktave.

Na žalost, nemaju svi sreće da imaju zdrave uši i dobar sluh. Nekima je sluh oštećen zbog određene traume, neka se djeca rađaju gluha, a većini ljudi naglušost dolazi uslijed prirodnog procesa starenja uha ili izloženosti buci. Znanost je ipak uspjela pomoći ljudima da čuju. Nesavršeno, doduše, ali ipak dovoljno za povratak izgubljene kvalitete života. Kod naglušosti, moguća je pomoć korištenjem različitih slušnih pomagala ovisno o vrsti naglušosti koja danas, zahvaljujući tehnologiji digitalnih slušnih pomagala, mogu pomoći osobama da bolje čuju i razumiju u gotovo svim slušnim situacijama, bez obzira na smjer dolaska zvuka ili na prisustvo buke. Odraslima, kojima slušna pomagala ne mogu pomoći, i djeci koja se rađaju gluha, pomoći može kohlearni implantat.

Glavna motivacija za ova istraživanja su svakodnevni problemi s kojima se susreće osoba koja radi sa slušnim pomagalicama i naglušim osobama. U Hrvatskoj se broj osoba koje nose slušna pomagala na oba uha, u odnosu na ukupan broj nagluših osoba sa slušnim pomagalicama, kreće oko 15 % do 17 %. Za usporedbu, 2013. je u SAD-u bio prosjek oko 85 % [2], u Japanu oko 39 %, a u Njemačkoj i Norveškoj oko 76 % [3]. Svakako treba uzeti u obzir da je 90 % tzv. teoretski maksimum zbog jednostranih oštećenja sluha, ali i jednostranih gluhoća.

Pravilnik o ortopedskim i drugim pomagalicama, u koja se ubrajaju i slušna pomagala, daje preporuku za korištenje jednog slušnog pomagala kada odrasla osoba ima obostrani gubitak sluha s prosječnom naglušošću od najmanje 40 dB na frekvencijama 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz i 4 kHz. Preporuku za korištenje dva slušna pomagala daje se kada je rezultat

govorne audiometrije s dva slušna pomagala u odnosu na jedno slušno pomagalo bolji za barem 20% pri razini liste riječi od 65 dB [4].

Digitalna slušna pomagala komercijalno su dostupna već 24 godine tijekom kojih se neprestano razvijaju. Postavlja se pitanje prate li i metode dijagnostike, kao što je tonska audiometrija, i metode vrednovanja ugođenosti, kao što je govorna audiometrija, taj razvoj i na koji način osigurati korisniku slušnih pomagala optimalnu ugođenost.

1.1. SLUŠNA POMAGALA

Oštećenja sluha možemo podijeliti u dvije skupine : naglušost i gluhoća. Naglušost je veće ili manje oštećenje sluha dok je gluhoća potpuni gubitak sluha. Razlikujemo 3 vrste naglušosti :

- konduktivna (provodna) naglušost (*hypoacusis conductiva*) – poremećaj zračne i koštane vodljivosti zvuka. Mjesto oštećenja je u vanjskom ili u srednjem uhu, tj. na razini provođenja zvučnih titraja do unutarnjeg uha. Uzroci su: začepljenje slušnog kanala ušnom masti, urođene malformacije vanjskog i srednjeg uha, mehanička nepokretljivost bubnjića i slušnih koščica, ozljede srednjeg uha, upalni procesi u srednjem uhu, timpanoskleroza, otoskleroza, itd.
- perceptivna (prijemna) naglušost (*hypoacusis perceptiva*) – poremećaj perceptivnih struktura unutarnjeg uha. Uzroci su: upalna oboljenja unutarnjeg uha, Meinerova bolest, izloženost buci, staračka naglušost, ozljede unutarnjeg uha, tumori slušnog živca, itd.
- mješovita naglušost (*hypoacusis mixta*) – kombinacija konduktivne i perceptivne naglušosti. Najčešće nastaje uslijed prelaska oboljenja sa srednjeg na unutarnje uho.

Oko 10 % oštećenja moguće je ublažiti ili ukloniti kirurškim putem ili lijekovima, a u ostalih 90 % slučajeva primjenjuju se raznovrsna slušna pomagala. Njih grubo možemo podijeliti u tri skupine: klasična slušna pomagala, vibracijska slušna pomagala i sustavi kohlearnih implantata.

Klasična se slušna pomagala sastoje od minijaturnog pojačala s mikrofonom i slušalicom, a funkcioniraju na principu zračne vodljivosti. Mikrofonom se primaju vanjski zvučni signali, pojačavaju se i emitiraju u pacijentov zvučnik. S obzirom na smještaj, razlikujemo 2 osnovne skupine ovakvih slušnih pomagala i 6 podskupina (slika 1.1) :

- Zaušni, odnosno BTE (*behind the ear*); Sastoji se od samog slušnog pomagala i ušnog umetka. Nosi se iza uha, a spojeno je cjevčicom s ušnim umetkom čiji je izlaz u zvučniku. Ovisno o vrsti cjevčice razlikujemo 3 podskupine:
 - Klasična zaušna slušna pomagala
Koriste standardnu cjevčicu i ušni umetak napravljen prema otisku uha korisnika. Mogu se preporučiti za sve razine naglušnosti.
 - tzv. *micro* ili *mini* zaušna slušna pomagala
Iako ovaj naziv nije standardiziran i prihvaćen od svih subjekata iz industrije slušnih pomagala, često se koristi kako bi se napravila razlika u odnosu na klasična zaušna slušna pomagala. Naime, ova podskupina zaušnih slušnih pomagala koristi tanku cjevčicu za prijenos zvuka od slušalice zaušnog slušnog pomagala do zvučnika. Tanka cjevčica uvelike smanjuje vidljivost zaušnog slušnog pomagala, ali također donosi gubitak od 3-7 dB na visokim frekvencijama [5] tijekom prijenosa zvuka u odnosu na standardnu cjevčicu. Kao ušni umetak može se koristiti umetak napravljen prema otisku uha, ali i univerzalne kupole koje učvršćuju poziciju izlaza zvuka cjevčice unutar zvučnika. Zbog gubitka uslijed prijenosa zvuka, ova se slušna pomagala preporučuju kod lakših i umjerenih naglušnosti.
 - RIC (*receiver in the canal*)
Kao što i samo ime kaže, slušalica zaušnog slušnog pomagala izvađena je iz kućišta, spojena žičicom i smještena unutar zvučnika. Ovisno o izboru slušalice, ova slušna pomagala mogu se koristiti za sve razine naglušnosti. Kućište zaušnog slušnog pomagala može biti zaista malih dimenzija i uz žičicu smještenu unutar tanke cjevčice čini ovo slušno

pomagalo gotovo u potpunosti neprimjetnim. Slušalica unutar zvučnika može biti učvršćena ili univerzalnom kupolom ili može biti postavljena unutar kućišta koje se napravi prema otisku uha korisnika.

- Kanalni, odnosno ITE (*in the ear*); Kućište slušnog pomagala izrađuje se prema otisku uha i sva elektronika smješta se u njega. Kao prednosti ITE slušnih pomagala nekad su se navodile korištenje uške za prirodnu lokalizaciju, prirodan položaj telefona tijekom razgovora i diskretan izgled. Danas prve dvije prednosti tehnologija dovodi u pitanje. Naime, usmjereni mikrofoni mogu dosljedno imitirati prirodnu lokalizaciju uške, a bluetooth tehnologija ili T-zavojnica omogućuju izravnu povezivanje s telefonom. Kada govorimo o diskretnosti, onda ta prednost ne vrijedi u usporedbi s RIC modelima zaušnih slušnih pomagala koja svojim minimalnim dimenzijama i postavljanjem iza uha uz tanku cjevčicu čine gotovo nevidljivo slušno pomagalo. Ovisno o pozicioniranju unutar uha, odnosno zvučnika, razlikujemo tri podskupine:
 - ITC (*in the canal*)
Slušno pomagalo postavlja se unutar uške, zbog mogućnosti postavljanja veće baterije može se preporučiti i za teže naglušosti. Može imati na sebi regulator glasnoće i elektroniku sa svom dostupnom tehnologijom.
 - CIC (*completely in the canal*)
Slušno pomagalo postavlja se na ulaz zvučnika zbog čega je manjih dimenzija, a preporučuje se za lakše i umjerene naglušosti
 - IIC (*invisible in the canal*)
Slušno pomagalo postavlja se unutar zvučnika, na prvi zavoj, sa slušalicom usmjerenom prema izlazu iz drugog zavoja. Ova slušna pomagala najmanjih su dimenzija, ali mogućnost njihovog postavljanja ovisi o fizičkim karakteristikama zvučnika te nisu u mogućnosti koristiti sve prednosti dostupne tehnologije. Preporučuju se za lakše i umjerene naglušosti.

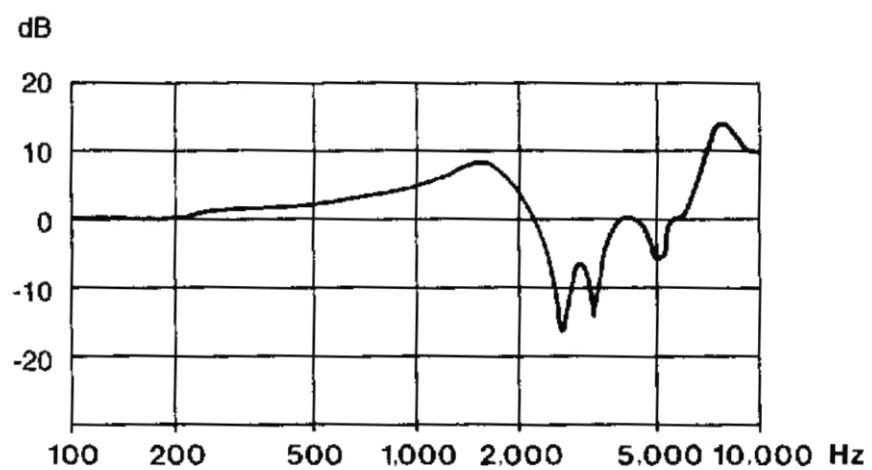




Slika 1.1 : Slušna pomagala (redom: klasična zaušna, *micro* zaušna, RIC, ITC i CIC)[5]

1.1.1. DIGITALNA SLUŠNA POMAGALA

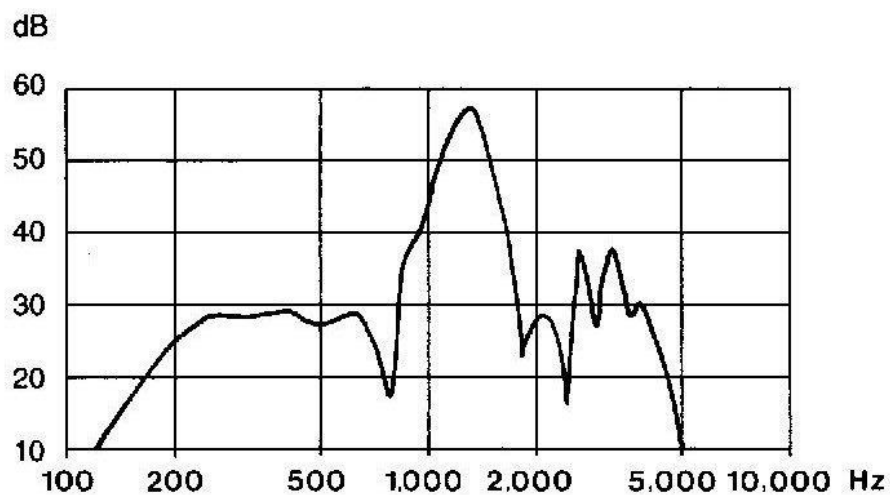
Vjerojatno prvo „slušno pomagalo“ bio je ljudski dlan koji bi se postavio iza uha s namjerom da se istaknu zvukovi sprijeda i umanju količina okolne buke (slika 1.2). Upravo taj način potiskivanja buke koriste današnja slušna pomagala s pomoću usmjerenih mikrofona. Tijekom 18. stoljeća proizvode se razne ušne trube (slika 1.3) koje oblikom i veličinom otežavaju korištenje. Što su dimenzije bile veće bilo je moguće i jače pojačanje te su ova slušna pomagala bila izrazito neprikladna za korištenje (slika 1.4). Zanimljivo je da se već tada pokazivala želja da slušna pomagala budu što manja i neprimjetnija, što se u većini slučajeva traži i danas.



slika 1.2: Amplitudno frekvencijska karakteristika pojačanja zvuka dlanom iza uha [5]



slika 1.3: Ušne trube različitih oblika i veličina [5]

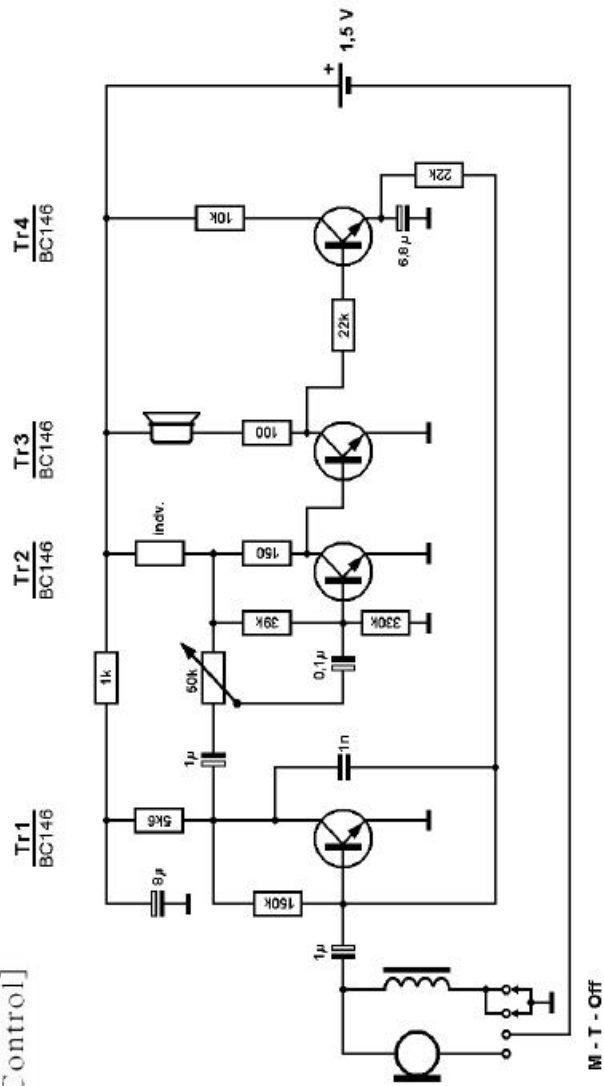


slika 1.4: Amplitudno frekvencijska karakteristika slušnog pomagala ušne trube [5]

Razvojem tehnologije, točnije izumom telefona, dolazi do zaokreta u razvoju slušnih pomagala [5]. Krajem 19. stoljeća napravljeno je prvo električno slušno pomagalo kao kopija telefonskog uređaja (slika 1.5). Slušna pomagala u tom trenutku sastoje se od 3 osnovna dijela: mikrofona, pojačala i slušalice, odnosno, izlaza zvuka. Naravno, razvojem tehnologije elementi postaju kompleksniji i savršeniji, s naglaskom na obradu signala govornog frekvencijskog područja. Krajem prve polovice 20. stoljeća vakuumske cijevi omogućuju puno veće pojačanje slušnih pomagala, a kasniji razvoj tranzistora uspijeva smanjiti veličine tih slušnih pomagala omogućavajući prva zaušna slušna pomagala (slika 1.6 i slika 1.7).



slika 1.5: Slušno pomagalo s kraja 19. stoljeća [5]



slika 1.6: Widex Minarette, zaušno analogno slušno pomagalo iz 1960. godine. [5]

i izobličenja već i mnoge napredne mogućnosti. Obrada signala omogućuje izdvajanje korisnog (govornog) signala, smanjivanje buke, smanjivanje mogućnosti pojave pozitivne povratne veze, usmjerenost i slično.

Današnja slušna pomagala (Phonak, Paradise generacija) imaju 109 milijuna tranzistora u 65 nanometarskoj tehnologiji. Odvija se više od 550 milijuna operacija u sekundi čime je omogućeno minimalno kašnjenje (manje od 10 ms) pri obradi signala koje naše uho ne može primijetiti.

Potiskivanje buke, uklanjanje neugodnog zviždanja uslijed pozitivne povratne veze, kompresija i nelinearno pojačanje samo su neki od algoritama prisutnih u svim modelima slušnih pomagala danas, neovisno o cjenovnom i kvalitativnom razredu. Sofisticiranija slušna pomagala donose još i mogućnost automatske prilagodbe slušnom okruženju, odnosno prepoznavanju slušne okoline i automatske prilagodbe svih mogućnosti toj okolini. Komuniciranje bežičnom vezom slušnih pomagala međusobno omogućuje sinkroniziranu regulaciju glasnoće i promjenu slušnog programa, ali i izravnu povezivost na cijeli niz vanjskih izvora zvuka kao što su mobilni telefoni, televizori, računala i razni drugi izvori zvuka.

Dijeljenje frekvencijskog područja rada u više kanala pomoću digitalnih filtara omogućuje točniju regulaciju glasnoće po pojedinim frekvencijama. Osim toga, omogućena je i pojedina obrada signala po svakom uskom frekvencijskom pojasu. Prepoznavanjem korisnog signala i potiskivanjem buke po svakom kanalu moguće je dobiti neizobličen zvuk i olakšati slušanje uz smanjenje buke. Naprednija slušna pomagala omogućuju nelinearnu kompresiju zvuka koja omogućuje da inače nečujni zvukovi u nižem frekvencijskom pojasu postanu čujni. Korištenje usmjerenih mikrofona omogućuje fokusiranje u smjeru dolaska korisnog zvuka, a pomoću mreže 4 mikrofona kada dva slušna pomagala razmjenjuju dobivene signale moguća je automatska lokalizacija zvučnog izvora. Također, slušna pomagala mogu pratiti navike korisnika u određenim slušnim situacijama, pamtiti ih te koristiti kada se korisnik ponovo nalazi u istoj slušnoj situaciji (na primjer u restoranu, u tišini ili za vrijeme slušanja glazbe).

Postavlja se pitanje koji bi bio optimalan broj kanala u kojima bi se digitalno obrađivao signal. Današnja slušna pomagala većinom rade u najviše 20 kanala što se pokazuje kao optimalan broj u kojem se još ostvaruje osjetna dobit za korisnika. Uzevši u obzir da većina kliničkih audiometara koji se koriste za tonsku audiometriju mogu najviše ispitivati 11 različitih frekvencija (125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 750 Hz, 1 kHz, 1500 Hz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, 6 kHz i 8 kHz), a upravo se taj podatak unosi u slušna pomagala za proračun preporučenog pojačanja, dolazimo do zaključka da je 20 kanala zadovoljavajući broj.

Složeni postupak odabira i ugađanja slušnih pomagala provodi se u nekoliko koraka. Prolazi se kroz područja koja uključuju procjenu potreba, odabir, ugađanje, verifikaciju, snalaženje i korištenje te iskustvo korištenja slušnih pomagala. Svaki korak ima važnu ulogu u osiguravanju uspješnog audiološkog tretmana i procesa rehabilitacije. Kao što je navedeno, jedan korak je i verifikacija – nezaobilazan dio većine postupaka u medicini i tehnologiji koji se može definirati kao „ustanoviti ili odrediti istinu ili točnost“.

Kako bi se ustanovio pravilan rad slušnog pomagala, najprije je potrebno postaviti cilj, tj. željene rezultate. Povijesno gledano, verifikacija je pratila napredak postavljanja ciljeva ugađanja. Najvažniji cilj je oduvijek bio povećanje razumijevanja govora te je govorna audiometrija bila sredstvo vrednovanja rada slušnog pomagala.

Polovicom prošlog stoljeća, govorna audiometrija s jednosložnim riječima predstavljala je najčešći oblik verifikacije, koji je koristilo čak 80% do 90% audiologa [7], [8]. Nakon testiranja, pacijentu je odabrano slušno pomagalo s kojim je postigao najbolji rezultat. Postavljala su se pitanja, može li se ovakav postupak uopće nazivati objektivnom verifikacijom [9], [10]. Pokazano je da se rezultati korištenja istog slušnog pomagala mogu razlikovati za 6,9%.

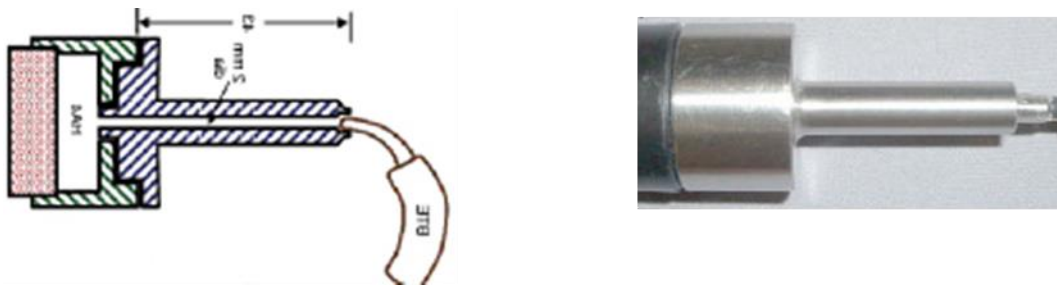
Većina bi se složila s tvrdnjom da „dobro“ slušno pomagalo treba optimizirati omjer između dobre slušnosti, razumljivosti, potrebnog pojačanja, izbjegavanja razina neugode i pružanja općenito dobre kvalitete zvuka. Ovi ciljevi dovode do razvijanja nekoliko preporučenih metoda (NAL – National Acoustic Laboratories, DSL – Desired Sensation Level, POGO – Prescription Of Gain and Output, MSU – Memphis State University, Bragg, Libby, itd.). Danas su najčešće korištene dvije, NAL s trenutnom inačicom NL2 i

DSL s trenutnom inačicom v5.0 [11]. Općenito, ove metode su temeljene na pretpostavci da se prema razini pacijentove naglušnosti može odrediti potrebno pojačanje slušnog pomagala koje će rezultirati najboljim postavkama za prosječnog pacijenta dok sluša prosječne tipove zvučnog signala u prosječnim slušnim situacijama. Iako ove metode neće dati savršeni rezultat za sve pacijente, one predstavljaju odličnu početnu točku za pronalazak savršenog individualnog podešenja.

Industrija prema normama :

- ANSI/ASA S3.7-1995 (R 2008) Methods for Coupler Calibration of Earphones,
- ISO 12124:2001 (R 2011) Procedures for the measurement of real-ear acoustical characteristics of hearing aids,

koristi spojnik zapremine 2 cm^3 (2cc coupler) pri proračunu potrebnog pojačanja slušnog pomagala (slika 1.8).

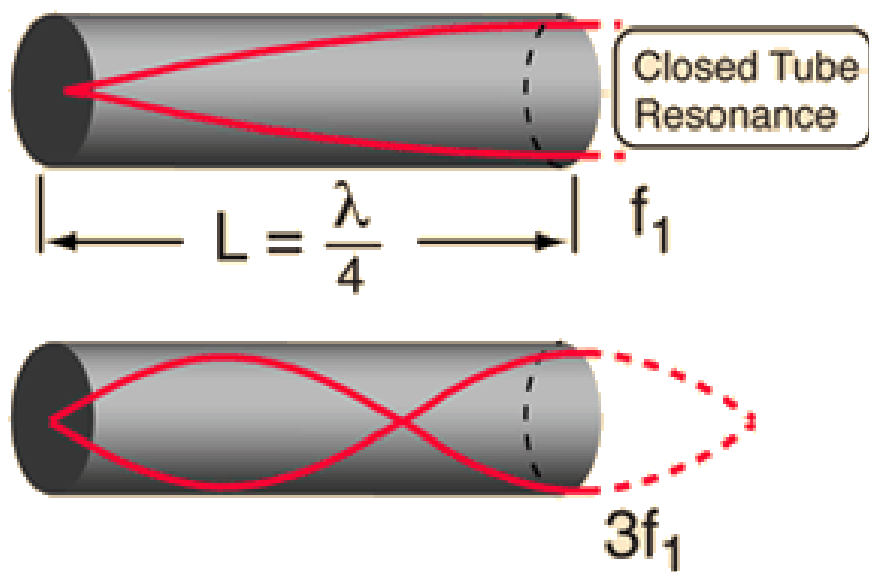


Slika 1.8. Spojnik zapremine 2 cm^3 [5]

Kada su postavljeni ciljevi za ugađanje slušnog pomagala, potrebno je utvrditi jesu li ti ciljevi ispunjeni. Vrijednosti koje daju različiti programi za ugađanje slušnih pomagala vrijede samo za tvorničke postavke uz zvučnik zapremine 2 cm^3 , tj. 2 cm^3 prostora između izlaza zvuka slušnog pomagala i bubnjića. Kako je vanjsko uho svojim fiziološkim karakteristikama individualno, očito je da prikazani rezultati ne mogu prikazati stvarnu razinu zvučnog tlaka (SPL) pri bubnjiću. Istraživanja su pokazala da se u programu prikazane vrijednosti propisane metodama (formule različitih proizvođača te NAL i DSL) razlikuju oko 10 dBA do 15 dBA, s najvećom pogreškom oko 20 dBA na frekvencijama oko 2000 Hz u odnosu na stvarne vrijednosti SPL-a mjerene pri bubnjiću [12], [13].

Nakon što se u zvučnik postavi izlaz slušnog pomagala (ušni umetak ili slušalica) on svojim oblikom i volumenom utječe na zvuk. Ova pojava može se objasniti usporedbom

s rezonantnom cijevi u kojoj nastanak stojnih valova povećava razinu zvučnog tlaka na rezonantnoj frekvenciji i njenim višim harmonicima.



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

$$f_1 = 340/4L \text{ (oko 3700 Hz)}$$

Slika 1.9: Aproksimacija zvukovoda (dio između slušnog pomagala i bubnjića s gornje slike) prema rezonantnoj cijevi ([14]) i proračun rezonantne frekvencije zvukovoda

DSL *fitting formula* standardna je kod ugađanja slušnih pomagala za djecu, a koristi se i u velikom broju ugađanja slušnih pomagala za odrasle osobe. DSL je kratica za *Desired Sensational Level* čime ova *fitting formula* već u svojem imenu objašnjava koji su joj ciljevi. Ona svojim proračunom potrebnog pojačanja po frekvencijama u ovisnosti o razini gubitka sluha, nastoji osigurati da je govorni signal čujan, ugodan i bez izobličenja na što je moguće širem frekvencijskom području [14]. Primjer proračuna prikazan je u tablici 1.1. Tablica prikazuje ciljane vrijednosti izlaznog signala slušnog pomagala za različite vrijednosti gubitka sluha, odnosno praga sluha, na prikazanim frekvencijama.

Tablica 1.1: DSL v5 ciljana vrijednost zvuka pri tihom govoru (55 dB SPL)

Prag sluha (dB HL)	250 Hz	500 Hz	750 Hz	1000 Hz	1500 Hz	2000 Hz	3000 Hz	4000 Hz	6000 Hz
0	46	49	45	43	43	46	47	45	38
5	49	52	48	46	47	50	51	49	41
10	53	55	52	50	50	53	54	53	45
15	56	58	55	53	54	57	58	56	49
20	59	62	58	56	57	60	62	60	53
25	63	65	62	60	61	64	65	64	57
30	65	66	63	62	63	66	67	65	60
35	67	68	65	63	65	68	69	68	62
40	70	70	67	66	67	70	72	70	65
45	73	73	69	68	70	73	74	73	69
50	77	75	72	71	73	76	77	76	72
55	81	79	76	75	76	79	80	79	76
60	84	82	79	79	79	82	83	81	79
65	86	84	81	81	82	84	85	84	82
70	89	86	83	83	84	87	88	87	85
75	92	89	86	86	87	90	91	89	88
80	94	92	89	89	90	93	93	92	91
85	98	94	92	92	93	95	96	95	94
90	99	97	95	95	96	98	100	99	97
95	103	101	98	98	99	102	104	103	102
100	107	105	102	102	103	106	107	106	106
105	111	106	106	106	107	108	109	109	108
110	115	110	110	110	110	111	113	111	111

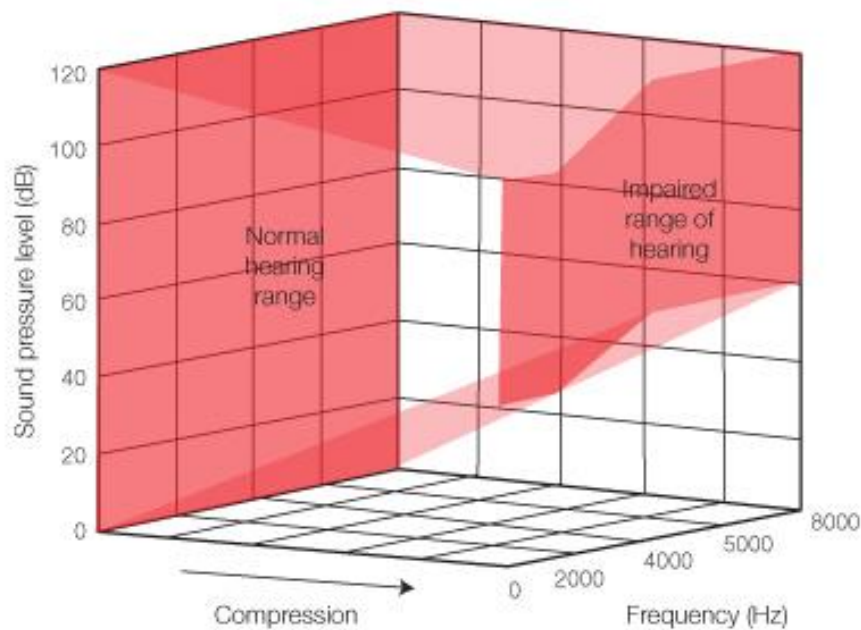
DSL *fitting* formulu moguće je odabrati u gotovo svakom programu za ugađanje slušnih pomagala [15].

Namjena slušnih pomagala je prvenstveno omogućiti nagluhim osobama čuti i razumjeti govor. Iako uredno čujuća mlada osoba ima mogućnost slušanja visokofrekventnih zvukova frekvencija do oko 20 kHz, slušna pomagala, zbog svojih tehničkih ograničenja, postavljaju gornju graničnu frekvenciju svoga rada na 6 kHz do 9 kHz ovisno o svojoj izvedbi i načinu prijenosa zvuka (klasični ušni umetak ili RIC slušno pomagalo).

U današnjem digitalnom svijetu slušnih pomagala, ona najjednostavnija, svojim karakteristikama i mogućnostima, primjerena su slušnim situacijama bez pozadinske buke te sudjelovanju u komunikaciji licem u lice. Tehnološki složenija slušna pomagala omogućuju olakšanu komunikaciju u zahtjevnijim slušnim situacijama uz prisustvo pozadinske buke, a za komunikaciju na većim udaljenostima potrebno je proširenje slušnog sustava.

Slušnim pomagalima je cilj iskoristiti preostalo područje dinamike nagluhe osobe na način da se zvukovi pojačaju određenu vrijednost kako bi oni bili čujni na ugodan i razumljiv način. Potrebno pojačanje, u ovisnosti o gubitku sluha, po pojedinim frekvencijama određuju *fitting formule*. Danas najpopularnije su NAL-NL2 i DSL v5. DSL (*Desired Sensation Level*) radi normalizaciju glasnoće po cijelom frekvencijskom području, omogućavajući maksimalnu čujnost svih zvukova, zbog čega je preporučena *fitting formula* prilikom ugađanja slušnih pomagala za djecu. NAL-NL2 (*National Acoustic Laboratories – nonlinear*) radi normalizaciju po području srednjih frekvencija u svrhu isticanja govornog područja i povećanja razumijevanja govora, posebno u situacijama s prisutnom bukom [27].

Kako je područje dinamike nagluh osoba bitno umanjeno u odnosu na uredno čujuće osobe, slušna pomagala koriste kompresiju prilikom pojačavanja zvukova različitih glasnoća. Uz kompresiju, moguće je primijeniti veće pojačanje za tiše zvukove, kako bi oni postali čujni, zatim manje pojačanje za srednje glasne zvukove i najmanje pojačanje (ili limitiranje) glasnih zvukova kako oni ne bi prešli prag neugode (slika 1.10).



Slika 1.10: Kompresija kod slušnih pomagala

Kod situacija s prisutnom bukom, najbolje rezultate poboljšanja govorne razumljivosti slušna pomagala postižu uz korištenje usmjerenih mikrofona. Konkretna dobit od korištenja usmjerenih mikrofona ovisi o stupnju usmjerenosti, odjeku, udaljenosti od govornika i razini buke. Ukoliko se radi o razgovoru licem u lice, dobit (povećanje odnosa signal-šum, odnosno SNR-a) od korištenja usmjerenih mikrofona je 3-5 dB, a ukoliko je izvor buke iza korisnika slušnih pomagala, poboljšanje SNR-a može doseći i 10 dB [28].

Poboljšanje govorne razumljivosti uz slušna pomagala, koristeći algoritme za potiskivanje ili uklanjanje buke, ne uzimajući u obzir dobit od korištenja usmjerenih mikrofona, veliki je problem koji još uvijek u potpunosti nije riješen, a kojeg je još 1997. predvidio Harry Levitt [29]:

Naše razumijevanje ovog problema toliko je ograničeno da ne samo da smo neuspješni u pronalasku rješenja, nego ne znamo je li uopće moguće povećati razumijevanje govora u buci za značajan iznos.

Algoritmi za potiskivanje buke rade na način da za uski frekvencijski pojas, u kojem je prepoznato postojanje buke, umanje propisano pojačanje. Povećanjem broja frekvencijskih pojaseva u kojima se radi digitalna analiza signala, tj. povećanjem broja frekvencijskih kanala slušnog pomagala, ovi algoritmi mogu raditi vrlo precizno i utjecati isključivo na frekvencijsko područje u kojem je prisutna buka. Ipak, smanjivanje pojačanja unutar određenog frekvencijskog pojasa smanjit će, uz buku, i razinu zvuka, odnosno dijelova govornog signala prisutnih u tom frekvencijskom pojasu te će SNR u tom pojasu ostati jednak, a time i cjelokupni SNR. Jednako tako, neće biti postignuto poboljšanje govorne razumljivosti, ali postiže se subjektivna korist kod korisnika slušnih pomagala koja se očituje u povećanju osjećaja ugodnog slušanja i smanjivanju napora pri slušanju [30].

Većina nagluhих osoba ima veći gubitak sluha na višim frekvencijama u odnosu na niže. Uslijed smanjenog područja dinamike na višim frekvencijama, otežane razabirljivosti zvukova te tehničkih ograničenja slušnih pomagala (ograničeno pojačanje na višim frekvencijama) potrebni su posebni algoritmi slušnih pomagala koji će omogućiti čujnost visokofrekventnih zvukova, posebno okluziva „p“, „t“ i „k“ te frikativa „s“, „š“, „f“, „h“, „z“ i „ž“. Postoje različite tehnike spuštanja zvukova viših frekvencija u područje nižih frekvencija (*frequency lowering*), ovisno o proizvođaču slušnih pomagala. Općenito, ovakvi algoritmi rezultiraju poboljšanjem razumijevanja govora, ali također i razvoju govora kod prelingvalno nagluhe djece [31].

1.2. TONSKA AUDIOMETRIJA

Tonskom audiometrijom određujemo najmanju glasnoću tona koji ispitanik čuje. Koristi se tonski audiometar (slika 1.11) sa slušalicama u za to predviđenoj prostoriji – tihoj komori. Prema ISO 8253:1-2010 standardu ispitivanje se provodi na nekoliko frekvencija. Počinje se na frekvenciji od 1 kHz te se nakon toga kreće prema nižim frekvencijama. Zatim se ponavlja ispitivanje na 1 kHz i zatim kreće redom prema višim frekvencijama. Na taj se način dobiveni rezultati prikazuju grafom koji nam pokazuje krivulju praga čujnosti. Pomoću slušalica ispitujemo zračnu vodljivost, a pomoću

postavljenog vibratora na kost iza uha koštanu vodljivost. Kako je metoda subjektivna, najmanja dob za tonsku audiometriju je oko 3 godine, ovisno od djeteta do djeteta. Za tonsku audiometriju je važno da je provodi iskusni audiološki tehničar koji će prepoznati nenamjerno, ali i namjerno pogrešno pokazivanje praga čujnosti. Kod nenamjerne pogreške će, na primjer, kod velikih razlika u pragu sluha zaglušiti bolje uho kako bi se na strani s većom naglušnosti dobio točniji rezultat. Ako postoji namjera, prepoznat će ispitanika koji zbog koristi želi lažirati nalaz.



Slika 1.11 : Audiometar MAICO MA 50

Tonska audiometrija ispituje osjetljivost uha čistim tonovima kojih u ljudskom govoru i prirodi nema. Učinkovita je posebice u dijagnostici bolesti uha. Također, može pokazati razinu slušanja u društvenoj komunikaciji, što nam kasnije pomaže pri izboru vrste slušnog pomagala [17].

Audiometrija se (prema ISO 8253:1-2010 standardu) izvodi tako da se ispitanik nalazi u sobi za ispitivanje u kojoj okolna buka ne prelazi 35 dBA. Lice ispitanika trebalo bi biti okrenuto prema ispitivaču i jasno vidljivo. Ispitanik ne smije čuti ili vidjeti

kontrolnu ploču audiometra kako ne bi znao kad treba očekivati zvučni signal. Prije audiometrije potrebno je učiniti otoskopski pregled kako bi se uši očistile od cerumena. Ispitanik najmanje 24 sata prije audiometrije ne smije biti izložen buci koja bi mogla uzrokovati *Temporary Threshold Shift* (TTS – privremeni gubitak sluha). Ukoliko ispitivanje potraje više od 20 minuta, preporučuje se kratki predah.

Pomoću većine kliničkih audiometara moguće je raditi tonsku audiometriju u koracima od 5 dB na frekvencijama 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 750 Hz, 1000 Hz, 1500 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz, 4000 Hz, 6000 Hz i 8000 Hz.

Prema ISO 8253:1-2010 standardu, tonska audiometrija se izvodi s pomoću slušalica u zvučno izoliranoj prostoriji. Najprije se traži prag sluha na frekvenciji od 1000 Hz. Pušta se ton na razini oko 20-30 dB većoj od procijenjene razine gubitka sluha kako bi se osobu upoznao s tonom, odnosno kako bi znala na kakav ton treba reagirati. Razina se spušta po 10 dB dok se ne utvrdi posljednja razina na kojoj osoba čuje zvuk. Postupak ispitivanja kreće na 10 dB nižoj od te, a razina ispitivanja se povećava u koracima od 5 dB dok se ne dobije prva razina koju ispitanik čuje. Ponavlja se -10dB/+5dB postupak dok se ne utvrdi točna razina praga sluha.

Nakon ispitivanja na frekvenciji od 1000 Hz, kreće se prema nižim frekvencijama. Zatim se ponavlja ispitivanje na 1000 Hz i kreće prema višim frekvencijama. Za vrijeme ispitivanja ton treba biti prisutan između jedne i tri sekunde, a pauza između dvaju tonova treba varirati između 1 i 3 sekunde pa i više.

1.3. GOVORNA AUDIOMETRIJA

Govornom audiometrijom mjeri se postotak razabiranja riječi u uvjetima bez i sa pozadinskom bukom. Dakle, umjesto čistog tona koristi se riječ koju ispitanik ponavlja. Mjeri se prag razabirljivosti, porast razabirljivosti porastom glasnoće i maksimalna razabirljivost. Koristi se 10 riječi, a liste riječi rade fonetičari. Govorna audiometrija kao što i sam naziv govori, subjektivna je audiometrija, koja sluh ispituje govorom. Njome ispituje razabirljivost riječi koje se najčešće koriste i to frekvencijski i intenzitetski

izbalansirane i standardne brzine. Za hrvatski jezik 1954. godine sastavljeno je osam lista riječi sa po 50 riječi [18] (Tablica 1.2). Govorna audiometrija je korisna pri određivanju tipa i parametara slušnih pomagala.

Tablica 1.2: Temeljna lista riječi za govornu audiometriju

TEMELJNA LISTA RIJEČI						
A	B	C	D	E	F	G
koka	čaša	vuk	metla	janje	koza	oko
slon	truba	roda	patka	pseto	klupa	stol
lampa	pile	ptica	žaba	krava	lasta	noga
igle	guska	stablo	pila	smokva	vatra	trešnja
maca	zeko	zmija	riba	beba	meso	ruke
prase	ovce	sova	deva	igla	noge	leđa
grožđe	lula	auto	miš	ploča	škare	kocka
tele	zvono	kuća	ovca	karta	ormar	pismo
mama	medo	vaga	šljiva	puž	lav	zubi
lopta	konj	duda	kapa	balon	boca	jaje

Fletcher i Steinberg 1929. godine sastavili su prve liste riječi za engleski jezik. Kako je u SAD-u bila razrađena posebna metoda ispitivanja sluha pomoću ljudskog glasa kroz elektroakustičke aparature, te riječi su korištene za govornu audiometriju u današnjem smislu riječi [19].

Liste riječi za hrvatski jezik 1954. godine sastavili su P. Guberina, J. Gospodnetić i I. Padovan. Temeljni principi njihovih lista riječi bili su:

- visina glasa – primjerice glas š, koji je vrlo visok dat će određenu težinu riječi (primjerice puši) i zbog toga je autori svrstavaju u skupinu teških riječi. Suprotno tome riječ vino svrstavaju u kategoriju lakih riječi iz razloga što se konsonanti v i n, ali i vokal o nalaze u srednje i nisko frekventnom području.

- živost glasa ili riječi – skupina konsonanata dn i zn malo se čuje u našem jeziku, naročito na početku riječi. Zato normalno uho percipira uglavnom samo drugi dio te skupine. Iz tog razloga će se riječi dno i znamo smatrati teškim riječima. Stoga se kaže da je živost konsonantske skupine dn i zn na početku riječi slaba.
- čujnost glasa odnosi se na problem akcenta. Naš jezik ima četiri naglaska: dugosilazni, dugouzlazni, kratkosilazni i kratkouzlazni. Profesor Stjepan Ivšić, kako navodi Padovan, prvi je potvrdio teoriju o tome da silazni naglasci pojačavaju prethodne glasove, a uzlazni pojačavaju glasove koji slijede [18].

Prema navedenim zahtjevima, svaka lista riječi sadrži 60 % teških, 20 % srednje teških i 20 % lakih riječi.

1997. godine u Njemačkoj rađeno je istraživanje [20] koje provjerava vezu između rezultata govorne audiometrije koja koristi logatome i rezultata tonske audiometrije. Lista riječi sastavljena je od troglasnih riječi na principu vokal-konsonant-vokal ili konsonant-vokal-konsonant. Lista riječi puštana je na razini 25 dB +/- 5 dB od prosječnog gubitka sluha na frekvencijama 500 Hz, 1000 Hz i 2000 Hz.

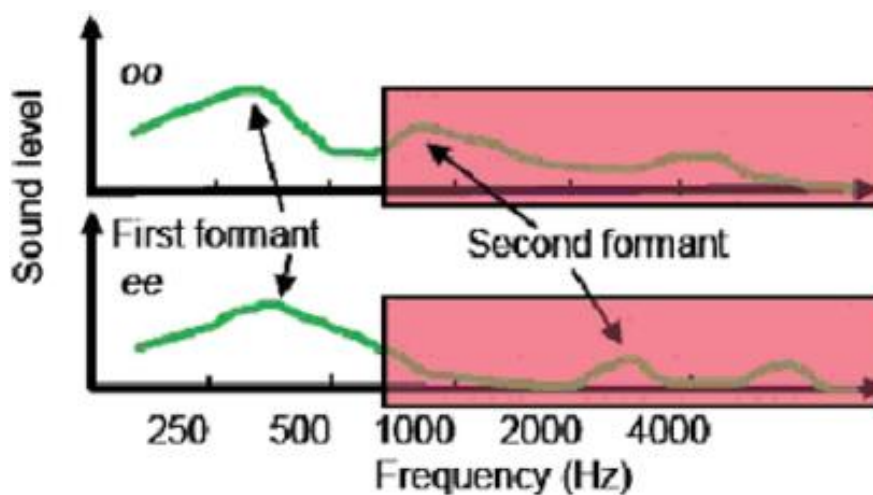
1.4. RAZUMIJEVANJE GOVORA

Gubitak sluha je višeslojan gubitak mogućnosti slušanja [5]. Zamjedbena naglušost rezultira nizom posljedica: umanjena slušnost, umanjeno područje dinamike, umanjena razlučivost frekvencija i umanjena razlučivost uslijed maskiranja.

1.4.1. UMANJENA SLUŠNOST

Nagluhe osobe pojedine zvukove uopće ne mogu čuti. Osobe s teškom naglušosti (gubitak sluha veći od 60 dB [21]) ne čuju većinu zvukova govora, osim ako se radi o vici ili o neposrednoj udaljenosti od govornika. Problem s razumijevanjem govora rezultat je nedostatka čujnosti dijela fonema. Gubitak sluha kojeg karakterizira pad slušnosti na frekvencijama od 500 Hz prema 4 KHz, a koji se događa kod više od 90% nagluhih

odraslih osoba i 75% djece [22], onemogućava slušnost viših formanata što dovodi do umanjenja razumljivosti. Na slici 1.12. i u tablici 1.3. vidi se sličnost prvog formanta glasova „o“ i „e“ koji može uzrokovati nesigurnost u razumijevanju ukoliko drugi formant nije čujan.



Slika 1.12: Položaj F1 i F2 kod glasova „o“ i „e“ [5]

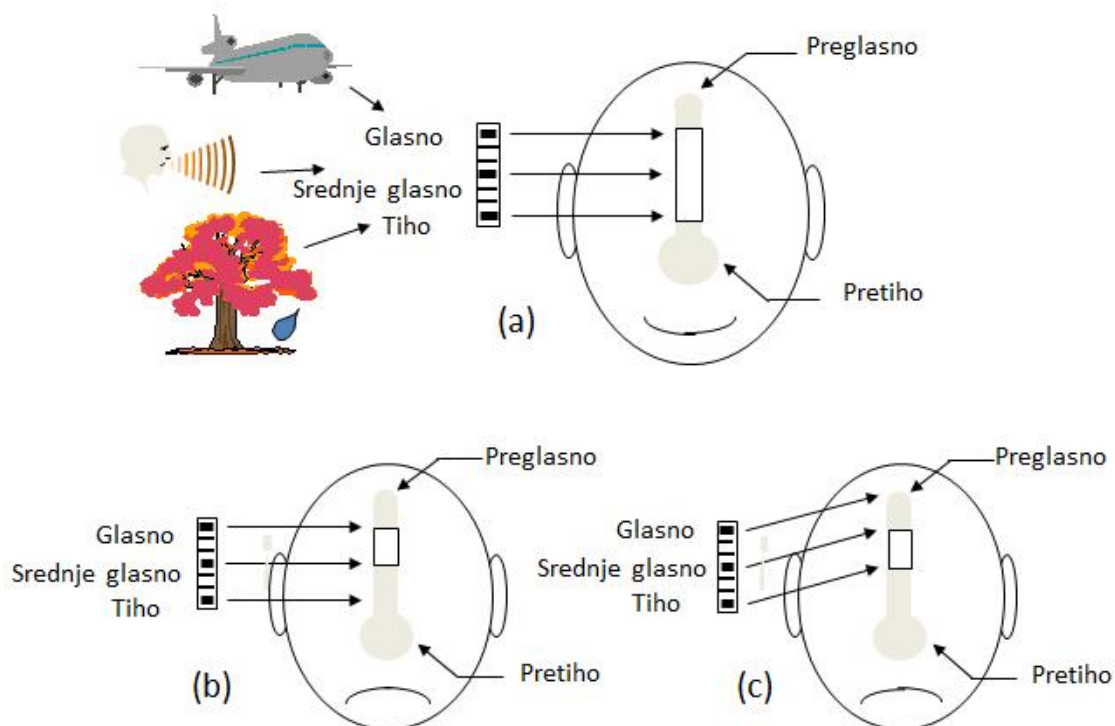
Tablica 1.3: Položaj formanata (Hz)

fonem	e	o
F1	471 Hz	482 Hz
F2	1848 Hz	850 Hz
F3	2456 Hz	2472 Hz

Kako niskofrekventni dijelovi govornog signala uzrokuju glasnoću, nagluhe osobe niti ne doživljavaju nedostatak glasnoće, odnosno čujnosti te su česte izjave poput „Čujem, ali ne razumijem“.

1.4.2. UMANJENO PODRUČJE DINAMIKE

Zamjedbena naglušost podiže prag sluha, ali prag neugode neznatno se mijenja, pogotovo kod lakših i umjerenih naglušosti. Ovo rezultira umanjenim područjem dinamike u odnosu na osobe urednog sluha (slika 1.13).



Slika 1.13. Umanjeno područje dinamike kod nagluših osoba: (a) prikazuje uredno čujuću osobu, (b) nagluhu osobu, a (c) nagluhu osobu kojoj slušno pomagalo jednako pojačava sve zvukove. [5]

1.4.3. UMANJENA RAZLUČIVOST FREKVENCIJA

Ukoliko okolna buka sadrži frekvencije bliske onima govornog signala, uredno čujuće uho može poslati odvojene signale mozgu. Na temelju informacija kojima raspolaže, slušne i vizualne (čitanje s usana) te uz poznavanje smjera dolaska zvuka, mozak može djelomično zanemariti dio informacije koji sadrži buku i usredotočiti se na slušanje govora.

Mogućnost razlučivanja frekvencija umanjena je kod osoba sa zamjedbenom naglušosti. Razlučivanje frekvencija može biti umanjeno i bez prisustva buke. Relativno

intenzivni zvukovi niskih frekvencija mogu maskirati tiše zvukove viših frekvencija (drugi i treći formant). Ovakva pojava naziva se širenje maskiranja prema gore (*upward spread of masking* [23]).

1.4.4. UMANJENA RAZLUČIVOST USLIJED MASKIRANJA

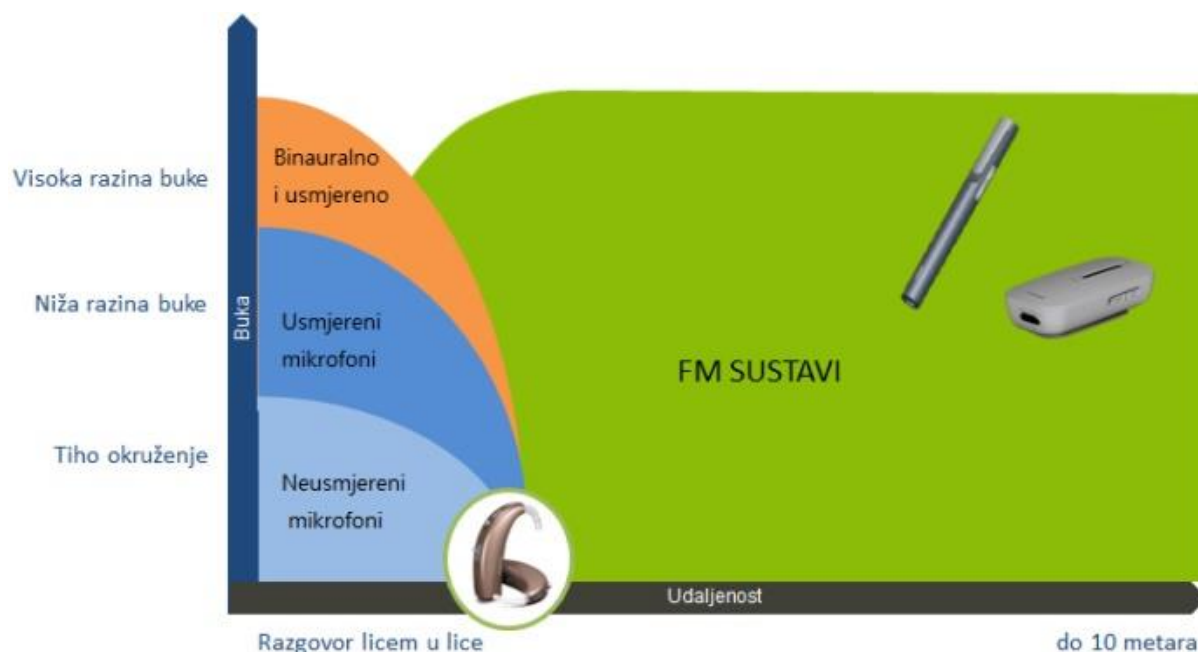
Glasni zvukovi mogu maskirati tiše zvukove koji dolaze neposredno prije ili poslije njih. Ovakva pojava maskiranja u vremenskoj domeni učestalija je kod osoba s gubitkom sluha i neposredno utječe na razumijevanje govora [24],[25].

Mnogo svakodnevnih situacija uključuje buku koja dinamično varira svojim intenzitetom. Uredno čujuće osobe imaju mogućnost slušanja tijekom tiših trenutaka i na temelju dobivenih dijelova formirati potpunu informaciju. Nagluhe osobe djelomično gube ovu mogućnost, pogotovo ukoliko su starije životne dobi [26].

Svaka od navedenih posljedica zamjedbenog gubitka sluha može uzrokovati slabije razumijevanje u određenoj situaciji, uspoređujući s osobom urednog sluha. Općenito, nagluha osoba treba veći SNR (*signal-to-noise ratio*, omjer signal – šum) nego uredno čujuća osoba ukoliko želi postići jednak rezultat razumijevanja govora.

1.5. FM SUSTAVI

Ukoliko se želi postići poboljšanje razumijevanja govora u situaciji kada je govornik na većoj udaljenosti od korisnika slušnih pomagala ili nije okrenut prema njemu, potrebno je proširiti sustav slušnih pomagala. Rješenje koje postiže odlične rezultate, čak i u situacijama s većim razinama pozadinske buke, jest korištenje FM sustava (slika 1.14).



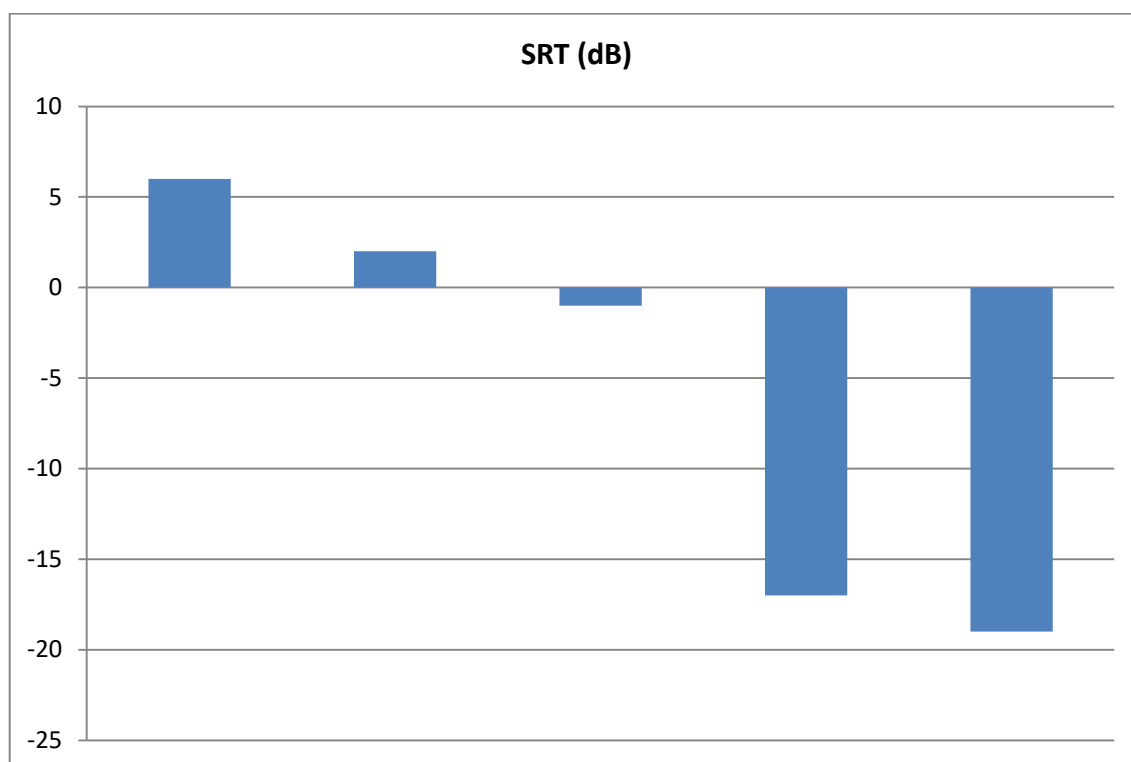
Slika 1.14: Namjena FM sustava i slušnih pomagala u ovisnosti o razini buke i udaljenosti od govornika [29]

FM sustav koristi frekvencijsku modulaciju (*frequency modulated*) za prijenos signala. Prednosti frekvencijske modulacije signala su velika otpornost signala na smetnje uslijed prijenosa, kako amplitudne tako i frekvencijske.

Kod modernih FM sustava za prijenos se koristi ISM (*Industrial, Scientific, Medical*, odnosno redom industrija, znanost i medicina) pojas na frekvenciji od 2,4 GHz. Teoretski, moguće je koristiti neograničen broj uređaja unutar jednog FM sustava zbog čega je sustav prikladan za korištenje tijekom nastave učenicima koji koriste slušna pomagala i FM sustav.

FM sustav sastoji se od predajnika FM signala i prijamnika FM signala. Predajnik FM signala mikrofonom prima zvuk (govor) te ga nakon frekvencijske modulacije prenosi prema prijamniku. Prijamnik FM signala signal vraća u prvobitni oblik te ga prosljeđuje prema slušnim pomagalima. Između predajnika i prijamnika nije potrebna optička vidljivost, a signal je moguće prenijeti na udaljenosti do 30 metara. Vrijeme potrebno za modulaciju, demodulaciju i prijenos signala manje je od 10 ms te ne utječe na kvalitetu zvuka. Frekvencijsko područje prijenosa signala je od 200 Hz do 7300 Hz.

Poboljšanje govorne razumljivosti uz FM sustave u situacijama s prisutnom bukom može biti zaista znatno. Mikrofon predajnika ima očekivano poboljšanje od 20 dB SNR-a u odnosu na mikrofon slušnog pomagala, isključivo zbog položaja bližeg govorniku. Na slici 1.15 prikazana je razlika u pragu sluha za govor (SRT – *speech reception threshold*) i to redom: bez korištenja slušnih pomagala, uz slušna pomagala koja koriste neusmjerene mikrofone, uz usmjerene mikrofone, uz FM prijamnik na jednom slušnom pomagalu te uz FM prijamnike na oba slušna pomagala [32].



Slika 1.15: Prikazan je SRT [dB] redom : bez slušnih pomagala, uz slušna pomagala bez usmjerenosti, uz slušna pomagala s usmjerenim slušanjem, uz FM sustav na jednom i FM sustav na oba uha

Uz prisustvo pozadinske buke od 68 do 73 dB i korištenje dinamičkog FM sustava moguće je poboljšanje govorne razumljivosti od oko 50% u odnosu na standardne FM sustave te poboljšanje od 80% u odnosu na nekorištenje FM sustava [33]. Dinamički FM održava omjer signal-šum (*signal to noise ratio* – SNR) na način da povećava svoje pojačanje s povećanjem razine okolne buke.

FM sustavi nezamjenjiva su pomoć nagluhoj djeci tijekom školovanja. Prilagodljivost FM sustava omogućava održavanje konstantnog SNR-a bez obzira na razinu buke koju stvaraju ostali učenici ili okolina. FM sustavi iskoristivi su i kod odraslih te oni upotpunjuju slušni sustav koji se temelji na slušnim pomagalima, u situacijama veće količine okolne buke i prilikom slušanja udaljenog govornika. Većina digitalnih slušnih pomagala podržava korištenje FM sustava. Veza između prijamnika FM signala i slušnog pomagala može biti izravna (ugrađeni prijamnik u slušno pomagalo) ili preko T zavojnice.

Pravilnik o ortopedskim i drugim pomagalima [4] uz Popis pomagala daje djeci nakon navršene sedme godine, ukoliko pohađaju redovno školovanje, pravo na korištenje jednog FM prijamnika i jednog FM predajnika uz rok uporabe od 5 godina.

1.6. UGAĐANJE SLUŠNIH POMAGALA

Digitalna slušna pomagala ugađaju se s pomoću računala i računalnog programa kojeg svaki proizvođač slušnih pomagala prilagođava svojim slušnim pomagalima i njihovim mogućnostima. Jedan računalni program za ugađanje slušnih pomagala može pokriti nekoliko generacija i veći broj modela slušnih pomagala istog proizvođača te svoje sučelje prilagođava mogućnostima slušnih pomagala.

Slušna pomagala švicarskog proizvođača slušnih pomagala Phonak novijih generacija koriste računalni program Target za ugađanje.

Svako ugađanje slušnih pomagala sastoji se od nekoliko koraka.

1.6.1. OSNOVNE INFORMACIJE O KORISNIKU

Kod unosa osnovnih informacija o korisniku najvažniji je unos audiograma. Na temelju audiograma, odnosno razina praga čujnosti na određenim frekvencijama, računalni program uz pomoć *fitting formula* proračunava i postavlja vrijednost pojačanja slušnog pomagala po cijelom frekvencijskom području rada (slika 1.16).



Slika 1.16 : Osnovne informacije o korisniku - računalni program Target za ugađanje Phonak slušnih pomagala

1.6.2. ODABIR SLUŠNOG POMAGALA

Ovisno o modelu slušnih pomagala, ona se mogu žično ili bežično spojiti na računalo. Važno je odabrati slušni sustav koji korisnik koristi kako bi računalni program na što je moguće bolji način postavio početne postavke slušnih pomagala. Odabire se *fitting formula* i razina početnog pojačanja u odnosu na iskustvo korištenja slušnih pomagala (slika 1.17 i 1.18).

Phonak Target 6.0.2 File Fitting Help

Client SUŠKOVIĆ, DAVOR

Connect Instruments Audio M90-312

Hearing aids Acoustic parameters Details Accessories

Fitting (Calm situation (C))

Client view Select media... Save & close session

Audio M90-312 (M)

Audio M90-312 (M)

Receiver M Check M Check

Earpiece Open dome Open dome

Dome size Small Small

Wire length 1M R 1M L

Coupling Enter code... Enter code...

Slika 1.17: Odabir slušnih pomagala i slušnog sustava – računalni program Target za ugađanje Phonak slušnih pomagala

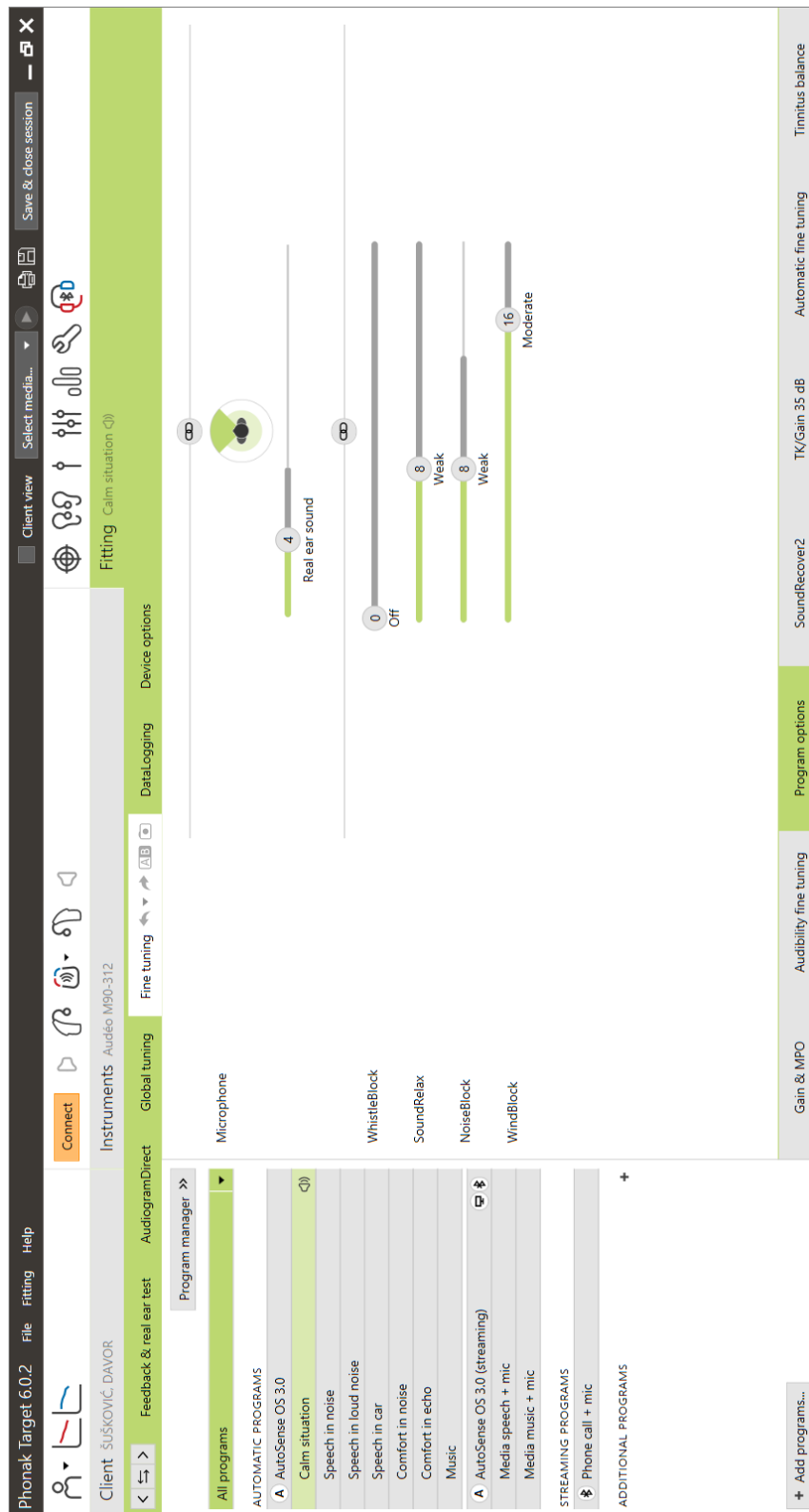


Slika 1.18: Odabir fitting formule i početne razine pojačanja – računalni program Target za ugađanje Phonak slušnih pomagala

1.6.3. UGAĐANJE SLUŠNIH POMAGALA

Ugađanje slušnih pomagala dopušta promjenu pojačanja po određenim frekvencijskim područjima – kanalima slušnih pomagala. Moguća je promjena pojačanja posebno za tihe, srednje glasne i najglasnije zvukove, kao i postavljanje najvećeg dopuštenog pojačanja kako slušno pomagalo ne bi postalo preglasno i prešlo prag neugode (UCL), ali i kako pozitivna povratna veza ne bi uzrokovala neugodno zviždanje slušnog pomagala.

Moguće je ugađanje svakog slušnog programa zasebno, odnosno načina rada u svakoj slušnoj situaciji koju slušno pomagalo može prepoznati automatski ili je korisnik sam može odabrati. Također, u ovom koraku se prilagođavaju i svi algoritmi, odnosno mogućnosti slušnih pomagala kao što su usmjerenost mikrofona, potiskivanje buke, algoritmi za omogućavanje slušanja zvukova viših frekvencija *frequency lowering* metodama i slično (slika 1.19, 1.20 i 1.21).



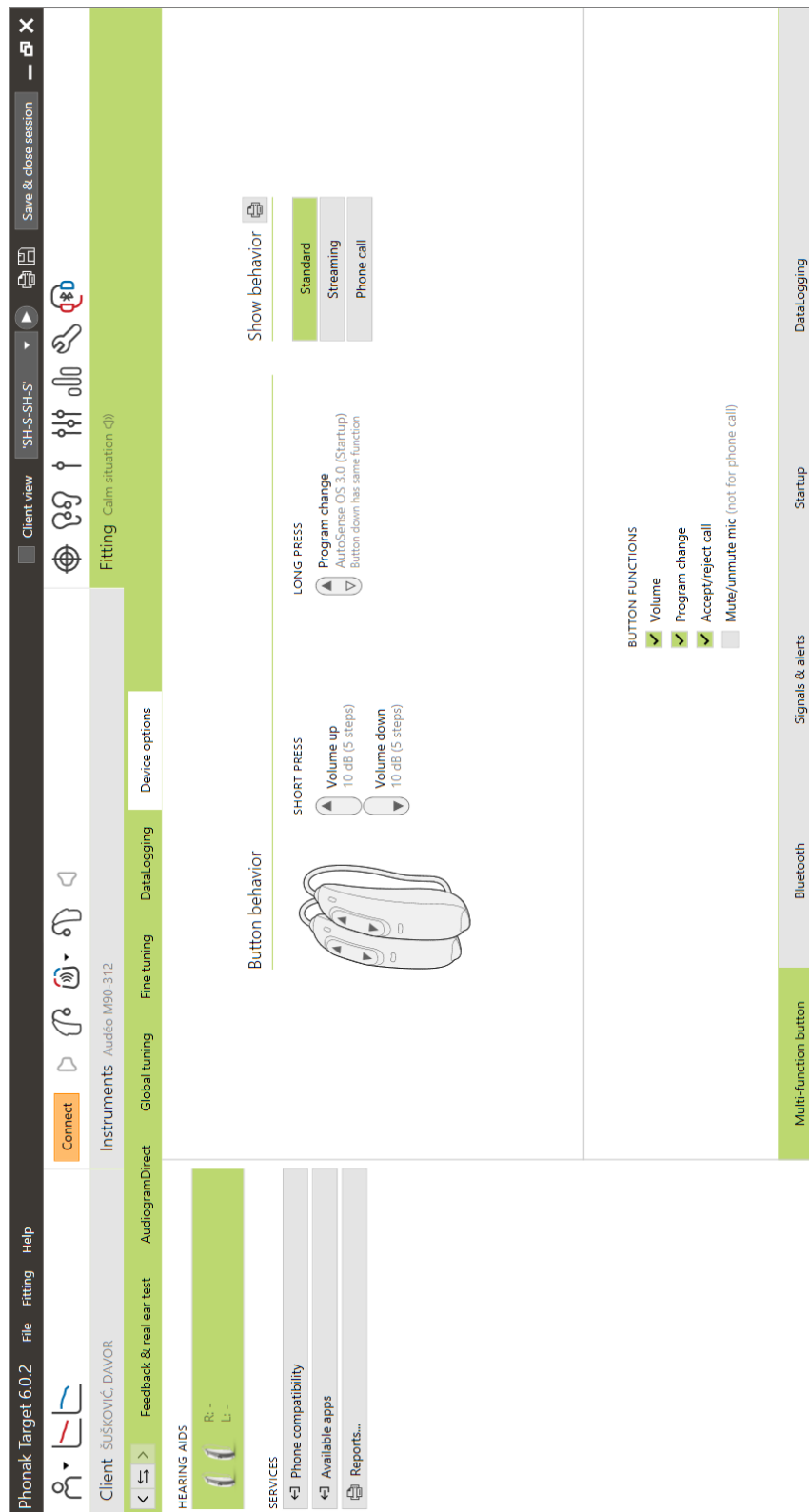
Slika 1.20: Ugađanje raznih mogućnosti slušnih pomagala – računalni program Target za ugađanje Phonak slušnih pomagala



Slika 1.21: Ugađanje algoritma za omogućavanje slušanja zvukova viših frekvencija *frequency lowering* metodom – računalni program Target za ugađanje Phonak slušnih pomagala

1.6.4. POSTAVLJANJE KONTROLE KORISNIKA

U završnom dijelu procesa ugađanja slušnih pomagala određuje se na koji će način korisnik upravljati mogućnostima, slušnim programima i glasnoćom slušnih pomagala. Uz tipku za programe i regulator glasnoće na samom kućištu slušnih pomagala, danas to mogu biti i mobilne aplikacije. U ovom koraku se također i određuje način povezivanja i postavke za Bluetooth povezivanje slušnih pomagala s vanjskim izvorima zvuka te način na koji slušna pomagala obavještavaju korisnika o pokretanju, prekidu rada, niskoj razini baterije i slično (slika 1.22).



Slika 1.21: Određivanje završnih postavki i kontrole korisnika – računalni program Target za ugađanje Phonak slušnih pomagala

2. OVISNOST GOVORNE RAZUMLJIVOSTI O FREKVENCIJSKOM PODRUČJU DOMINANTNOG GUBITKA SLUHA

2.1. FREKVENCIJSKO PODRUČJE DOMINANTNOG GUBITKA SLUHA

Gubitak sluha prikazan audiogramskom krivuljom pokazuje razinu gubitka sluha na pojedinim frekvencijama. Audiogramska krivulja često je okarakterizirana većim ili manjim padovima prema određenom frekvencijskom području, ovisno o samom gubitku sluha, ali i o rezonantnim karakteristikama uha, posebice bubnjića i zvukovoda.

Tri karakteristične audiogramske krivulje koje se pojavljuju relativno često kod nagluhih osoba su:

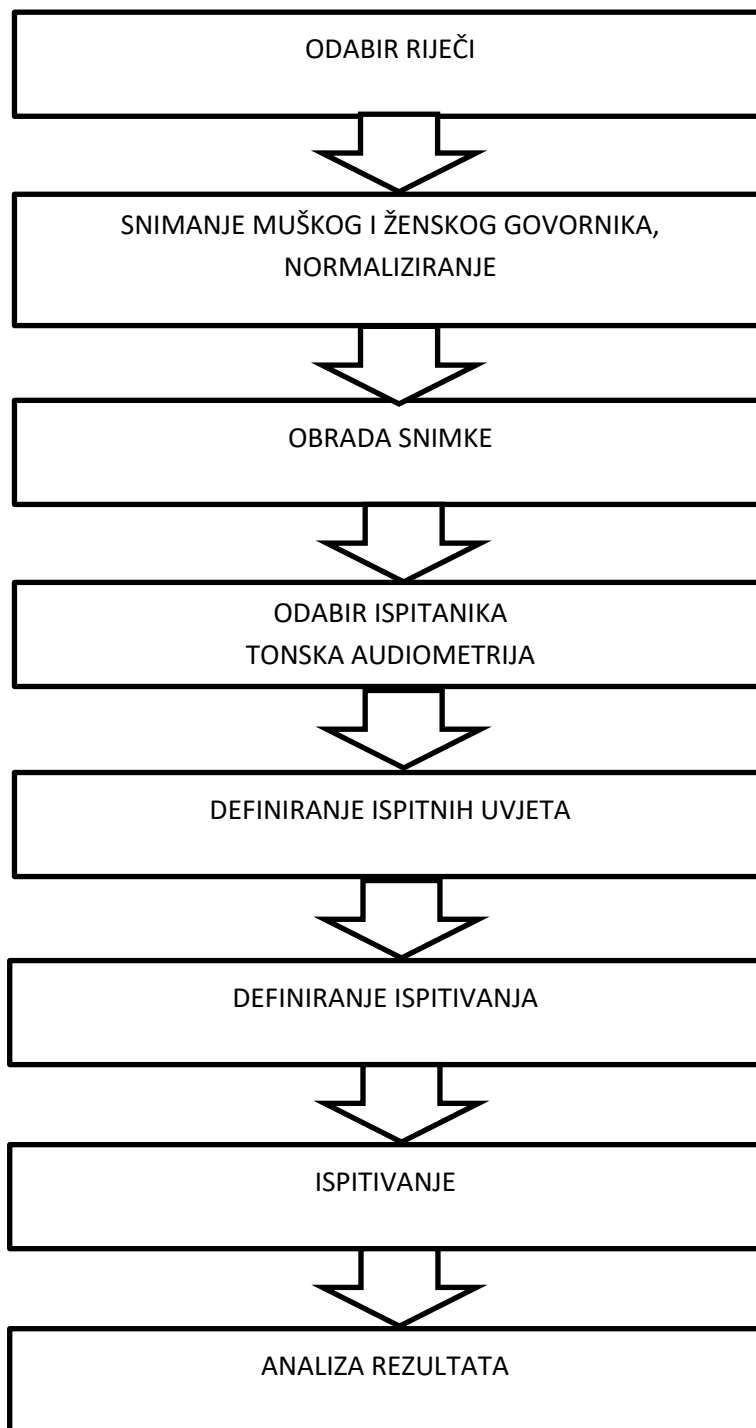
- blago silazna krivulja s padom od oko 5-10 dB po oktavi koja je karakteristična za prezbiakuziju
- naglo silazna krivulja nakon frekvencije od 1 kHz i s dominantnim gubitkom sluha u okolišu frekvencije od 4 kHz
- uleknuta karakteristika s dominantnim gubitkom sluha na srednjim frekvencijama

Govorni signal izrazito je kompleksan signal, uzimajući u obzir njegov nastanak, obradu te širenje. Promatran kao električni signal, predstavlja njegovu najsloženiju vrstu. Signal je nestacionaran, tj. promjenjiv je po frekvenciji i intenzitetu te pretežno tranzijentne prirode s naglim nastajanjem i nestajanjem pojedinih govornih fenomena. Signali su modulirani amplitudno i frekvencijski [1].

2.2. CILJ I METODE ISTRAŽIVANJA

Cilj istraživanja je ispitati ovisnost govorne razumljivosti o frekvencijskom području dominantnog gubitka sluha.

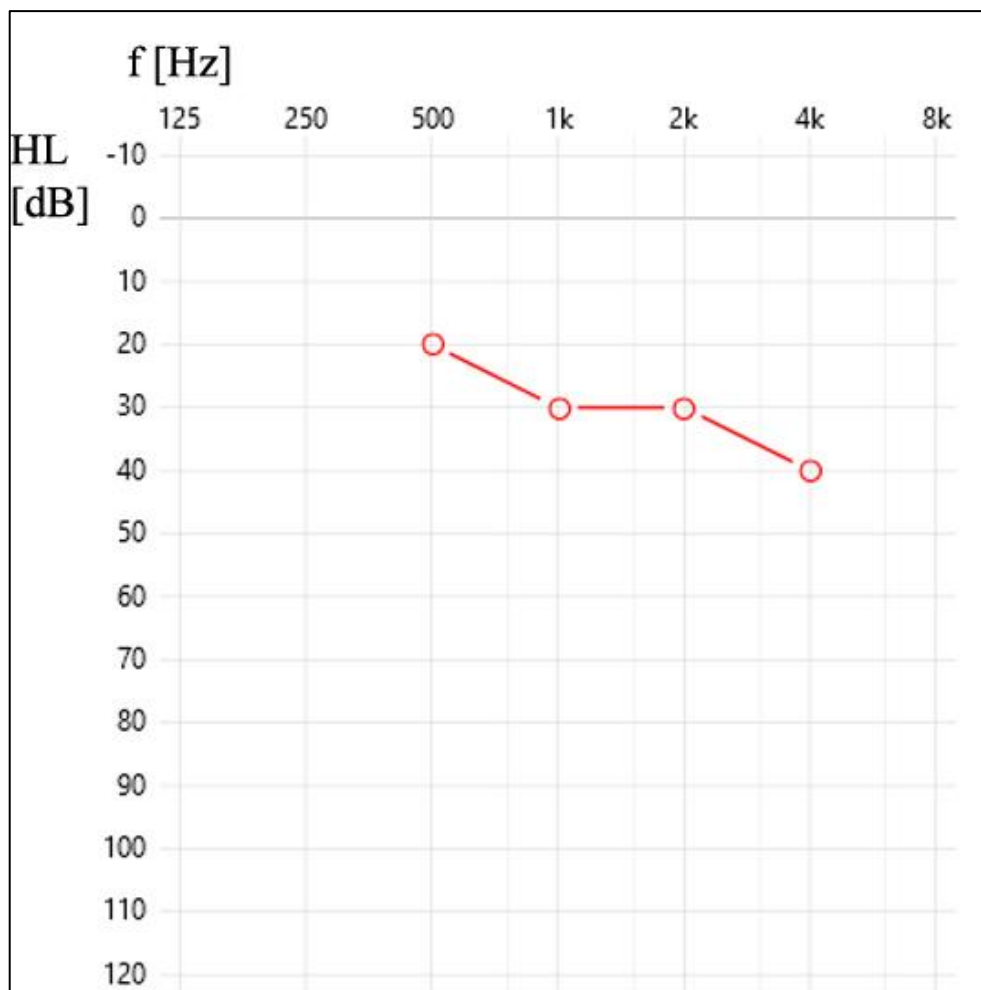
Dijagram toka:



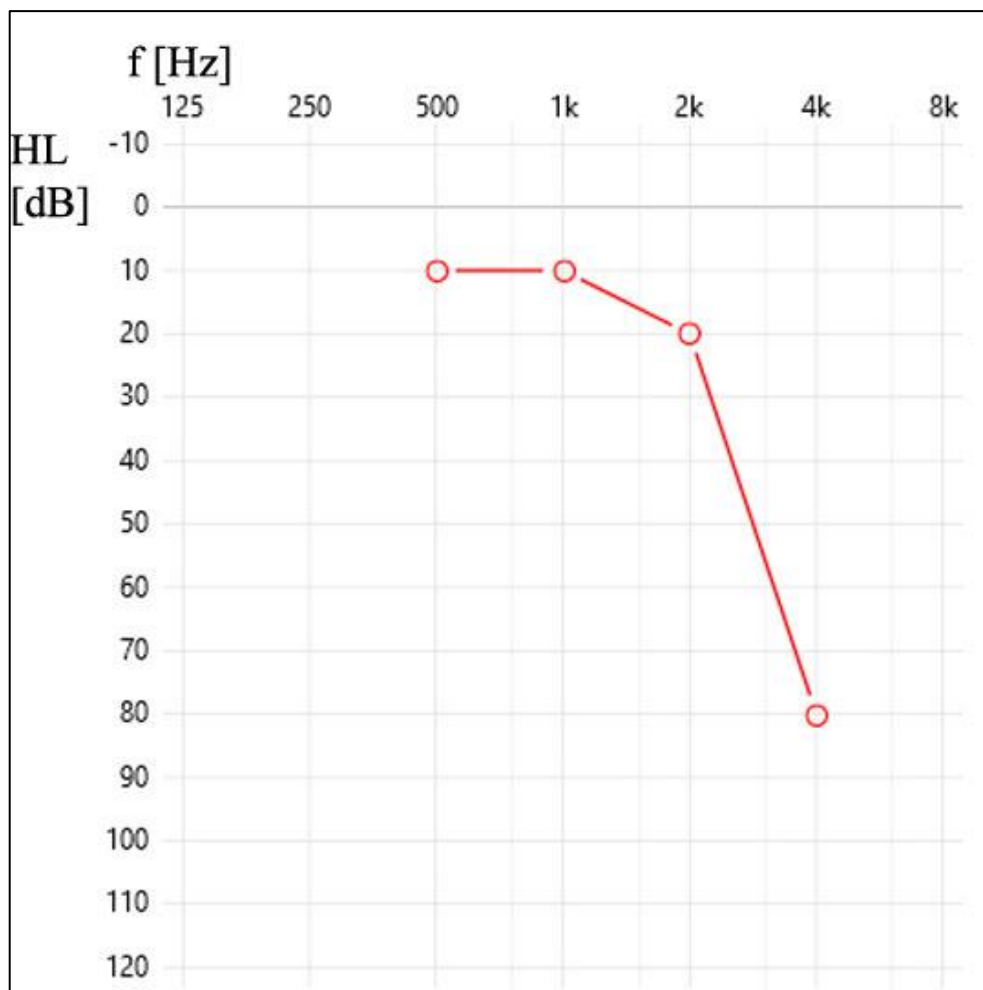
Odabrano je 9 dvosložnih riječi, iz postojeće liste riječi govorne audiometrije, podijeljenih u tri skupine po zastupljenosti glasova pretežno viših, srednjih i nižih frekvencija. Odabrane riječi su „muklo“, „umor“, „bumbar“ (NF), „rana“, „krava“ i „dama“ (SF) te „stići“, „splitski“ i „lišće“ (VF). Upravo je zastupljenost glasova određenih frekvencija važna za provjeru govorne razumljivosti ovog ispitivanja.

Muški i ženski govornik izgovaraju navedene riječi standardnom brzinom. Snimanje je izvršeno u izoliranom studiju s prikladnom opremom. Nakon snimanja izvršeno je normaliziranje glasnoće svih riječi.

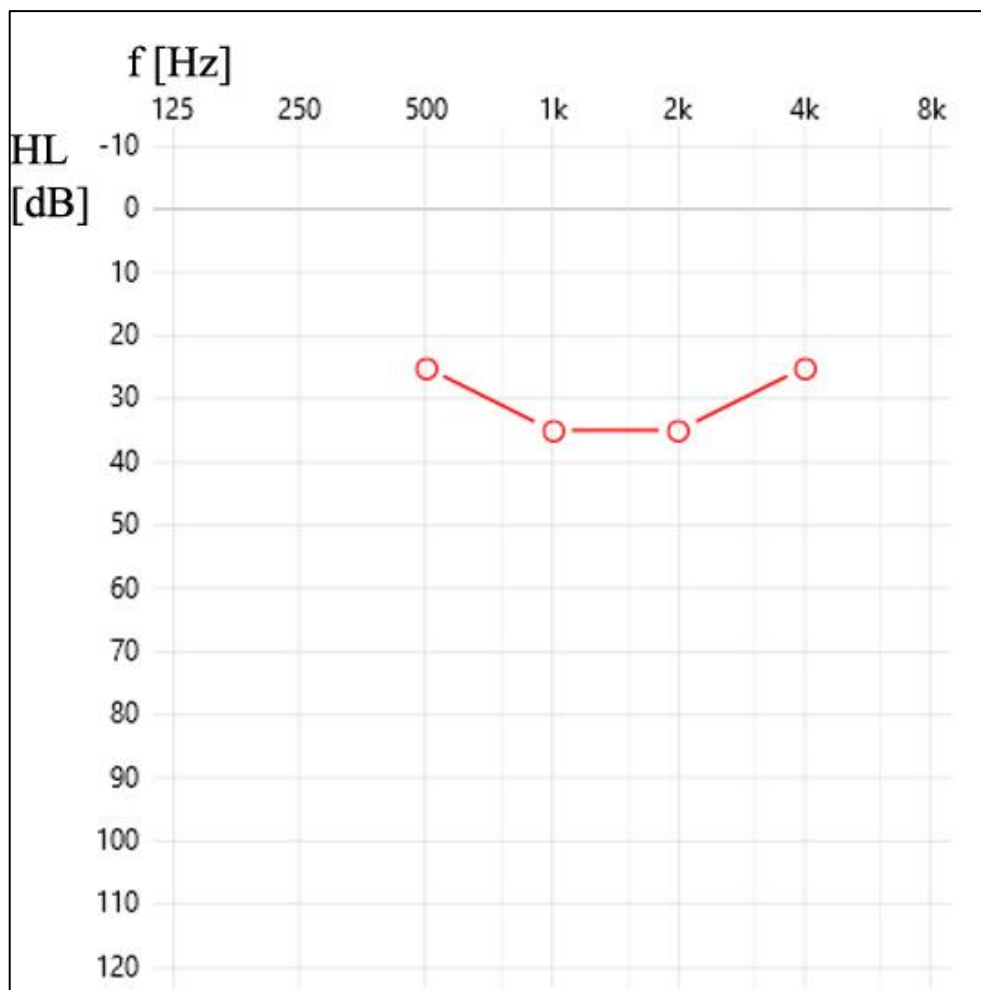
Za obradu snimke korišten je program Audacity v2.1.0. Odabrane su tri tipične audiogramске krivulje s jednakom prosječnom vrijednošću gubitka sluha na govornim frekvencijama (500 Hz, 1 kHz, 2kHz i 4kHz) od 30 dB (slika 2.1., slika 2.2 i slika 2.3.). Filtriranje ispod frekvencije od 500 Hz odgovara razini na 500 Hz, a iznad frekvencije od 4 kHz odgovara razini na 4 kHz.



Slika 2.1: Audiogram prezbiakuzije

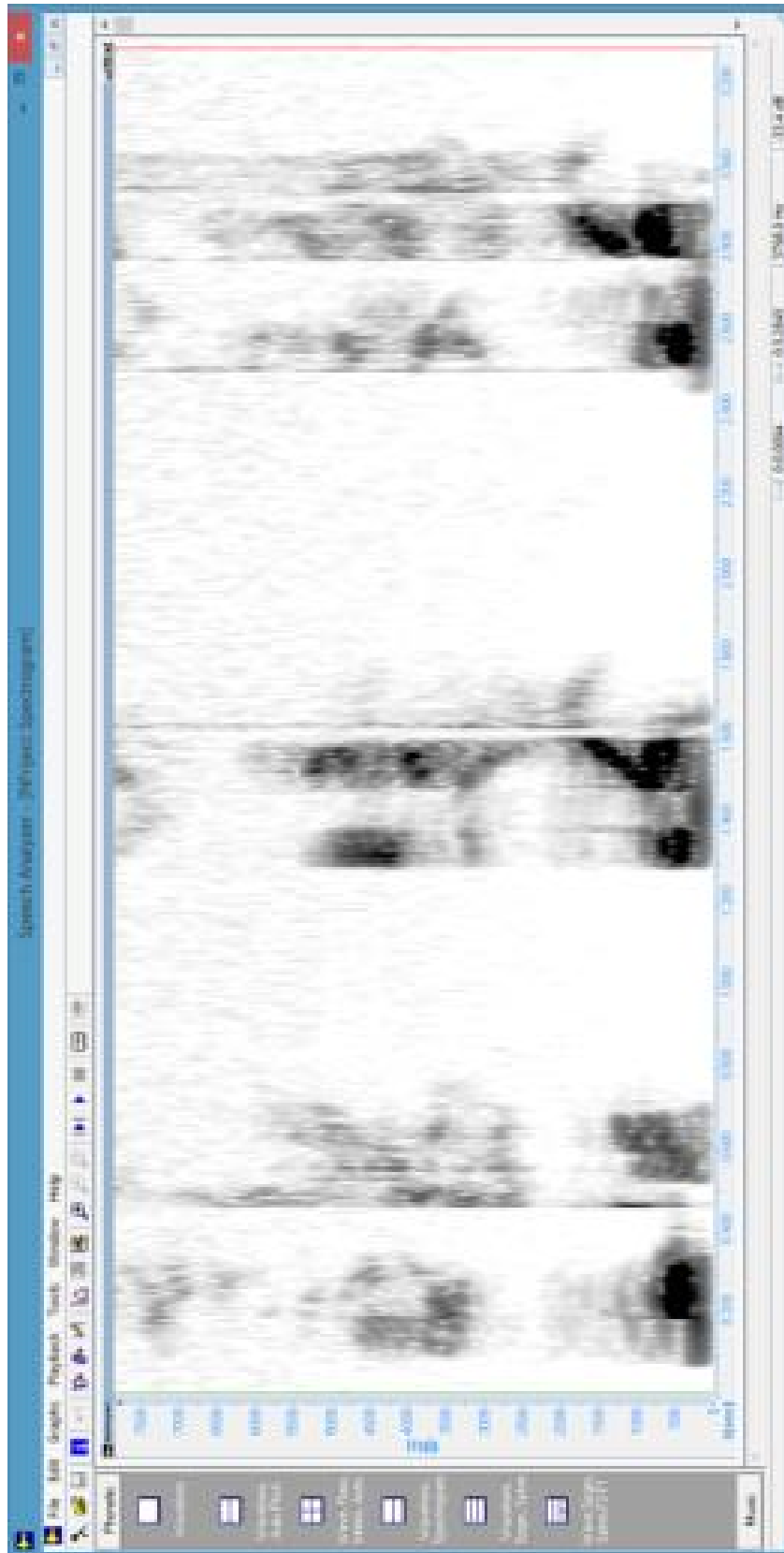


Slika 2.2: Audiogram gubitka sluha uzrokovanog bukom

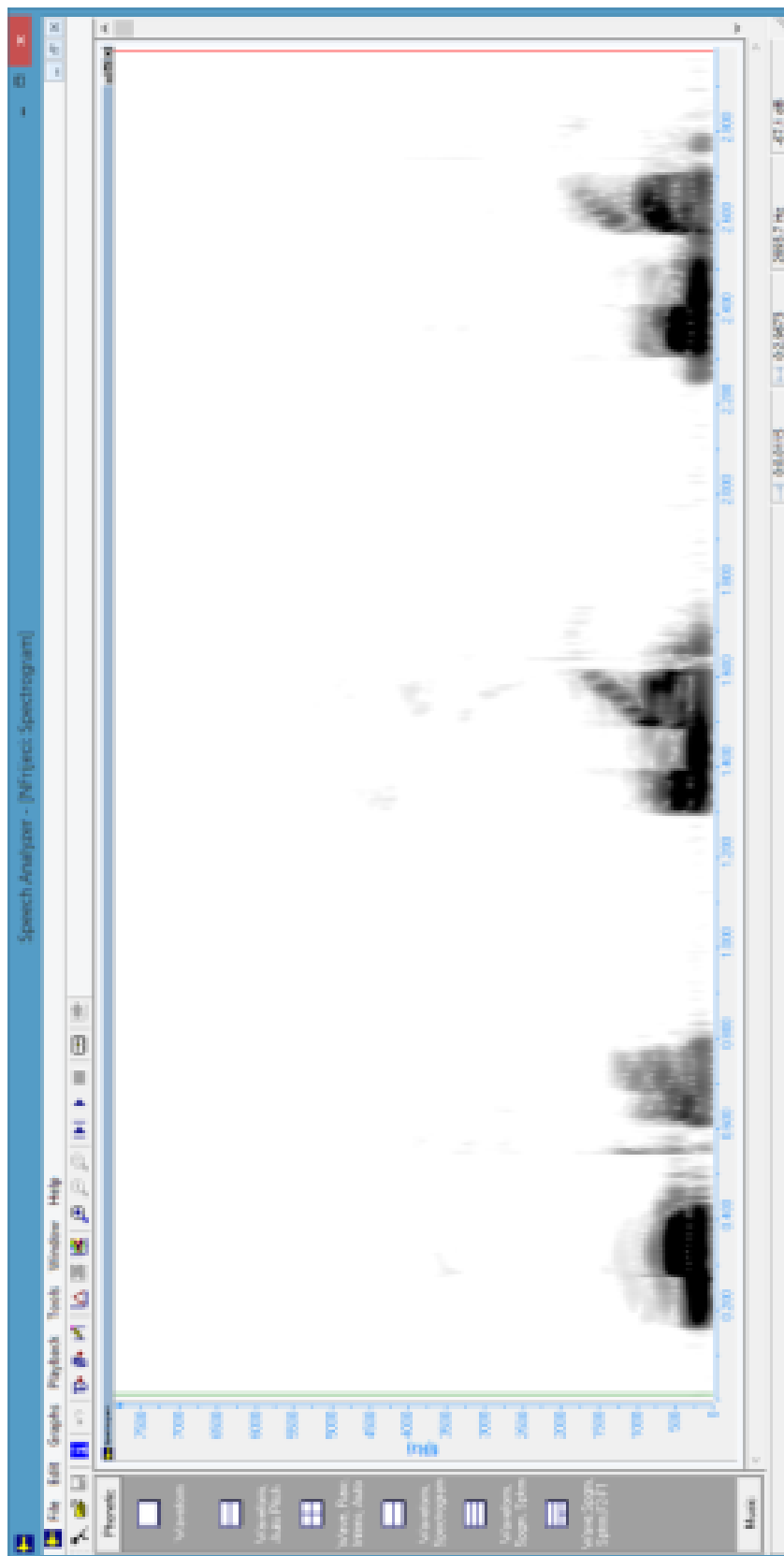


Slika 2.3: Audiogram uleknute karakteristike

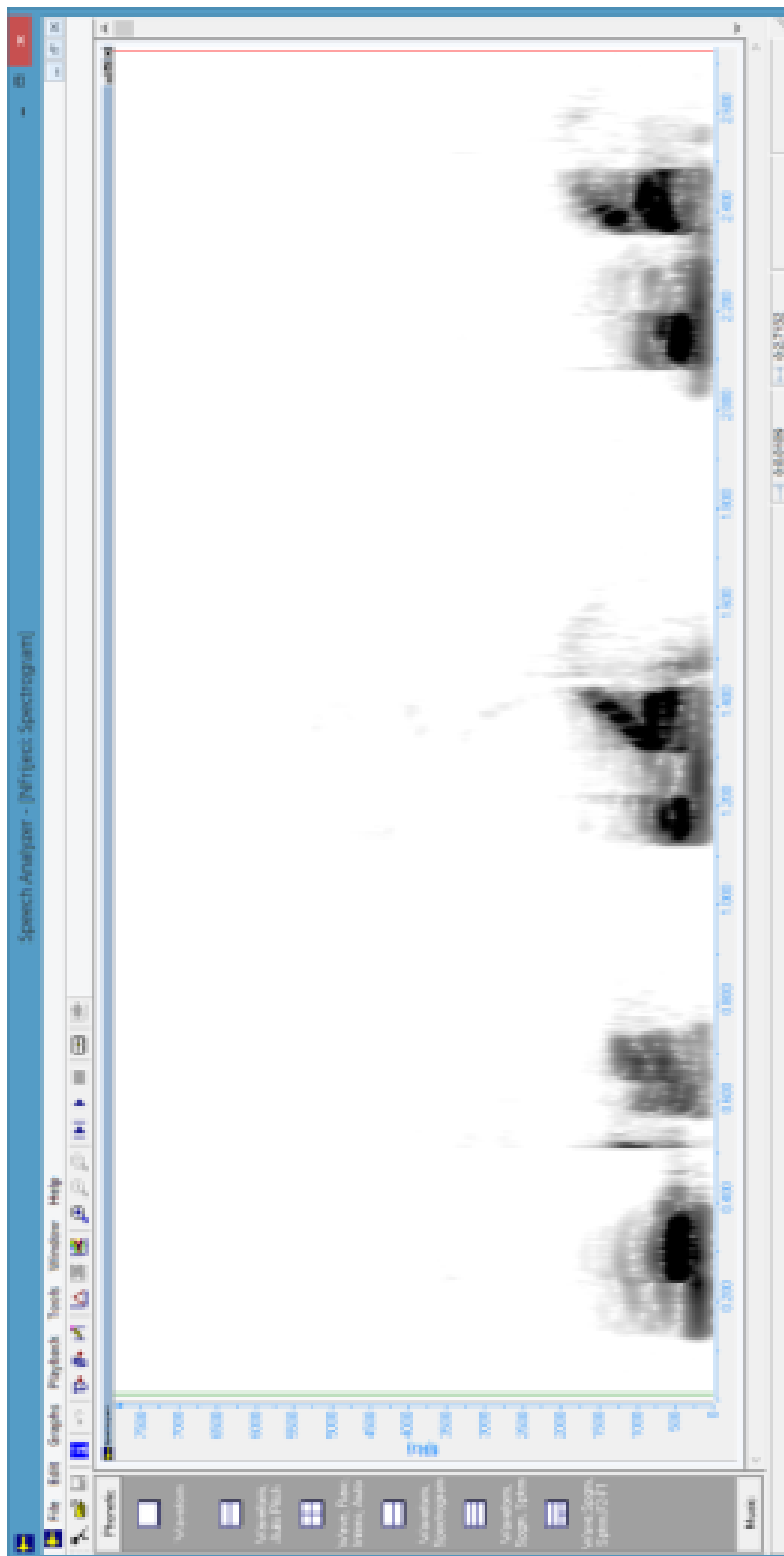
Svaki gubitak sluha simulirao se na razinama 0 dB, -10 dB i -20 dB. Ukupno dobivene 162 riječi (2 govornika, 9 riječi, 3 razine, 3 audiogramske krivulje) montirane su slučajnim redoslijedom uz pauzu od 4 sekunde između riječi. Ukupno trajanje snimljenog materijala je 11 minuta i 3 sekunde. Spektrogrami odabranih riječi bez simuliranog gubitka sluha te uz primijenjeni gubitak sluha prikazani su na slikama 2.4 – 2.15.



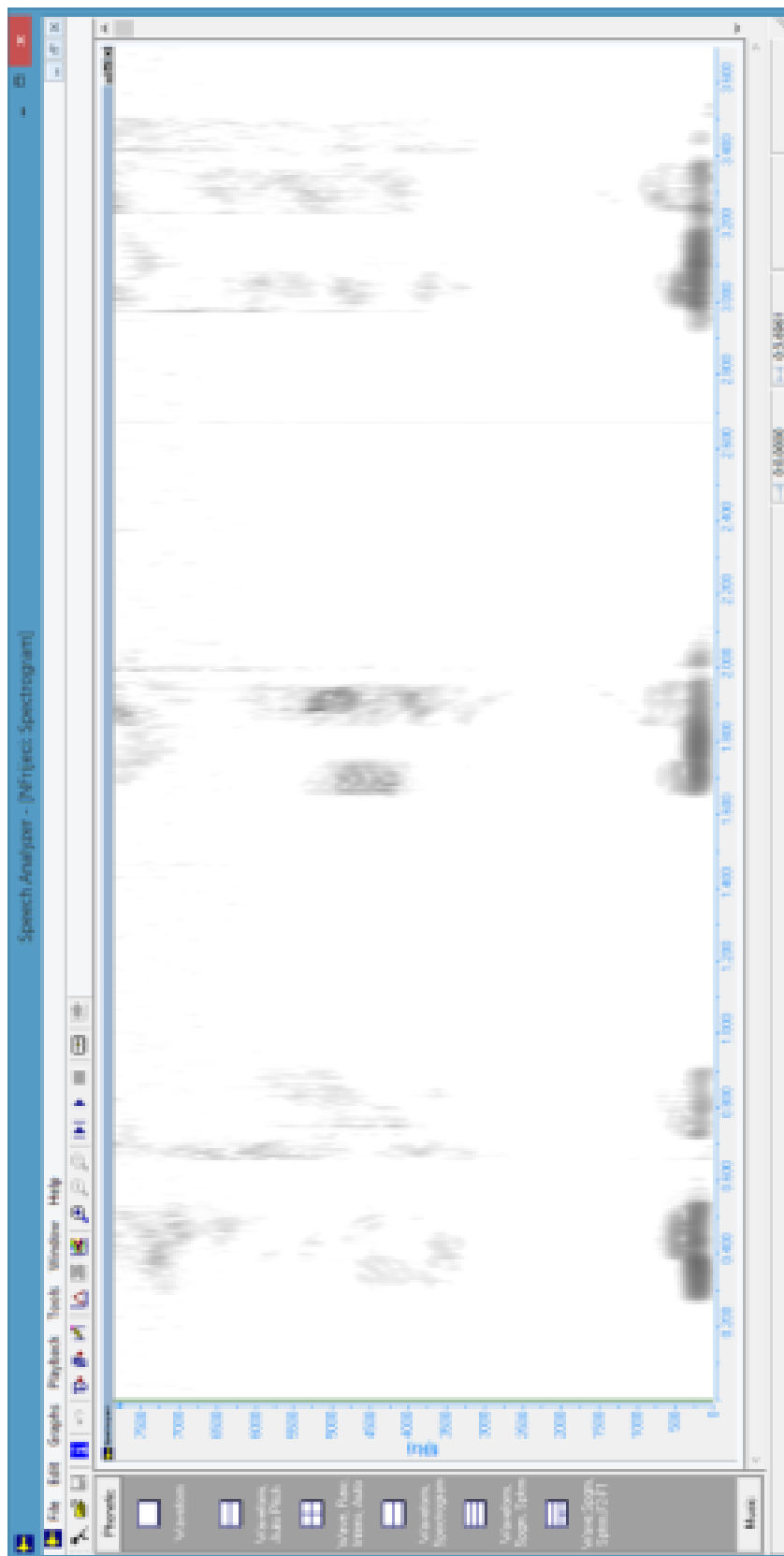
Slika 2.4: NF riječi bez gubitka sluha



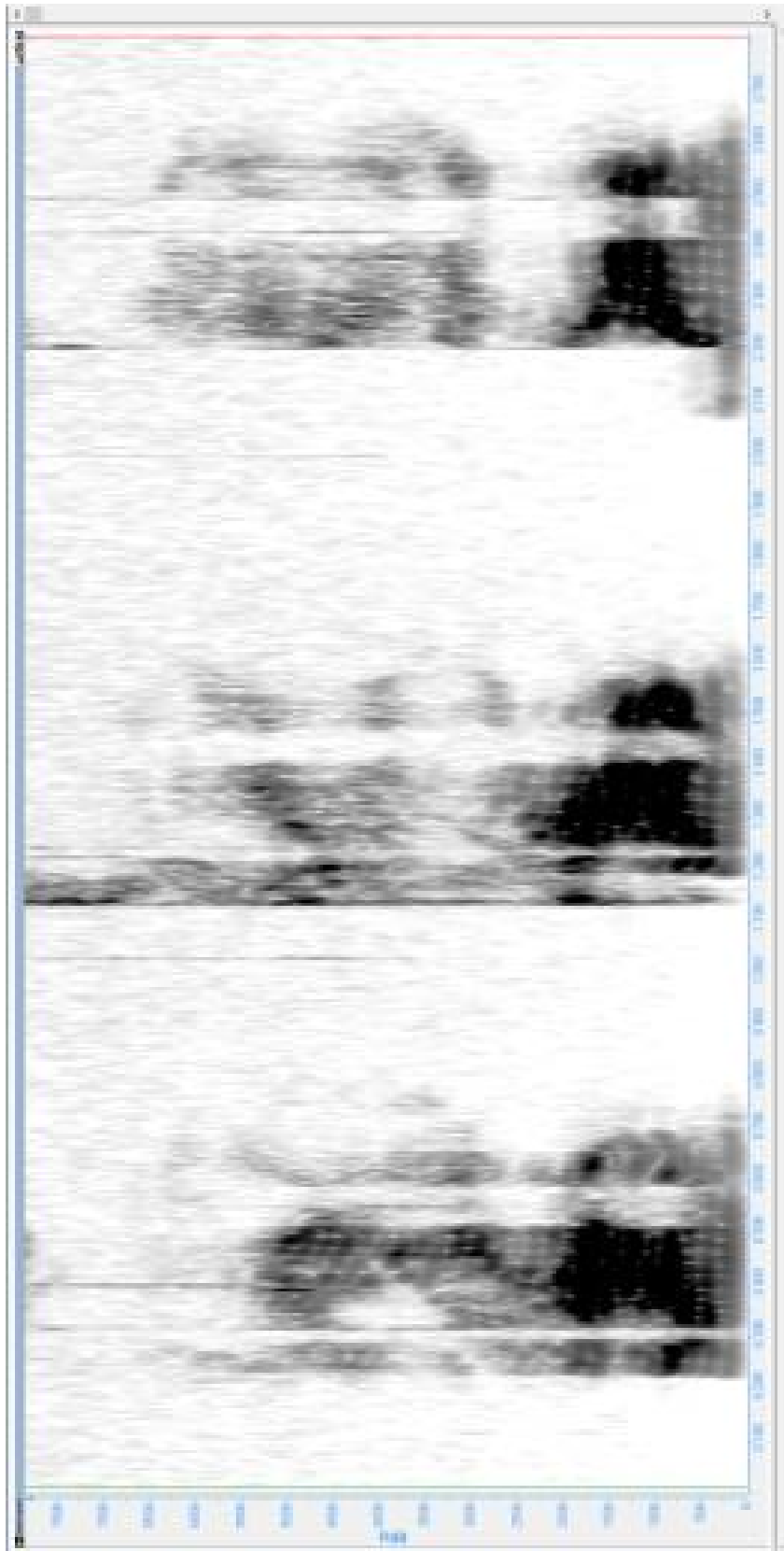
Slika 2.5: NF riječi uz audiogramsku krivulju karakterističnu za prezbiakuziju



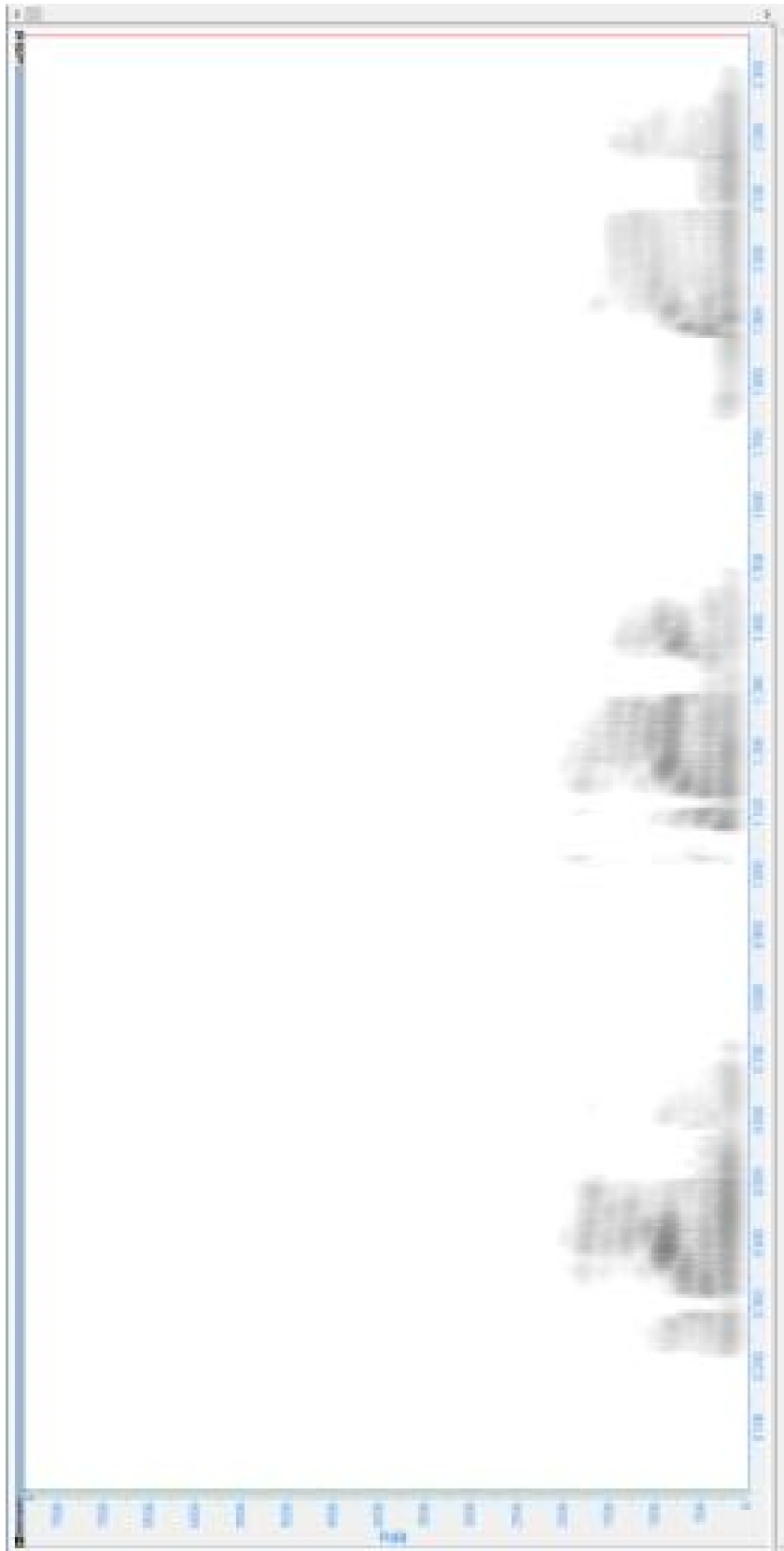
Slika 2.6: NF riječi uz audiogramsku krivulju karakterističnu za gubitak sluha uzrokovan bukom



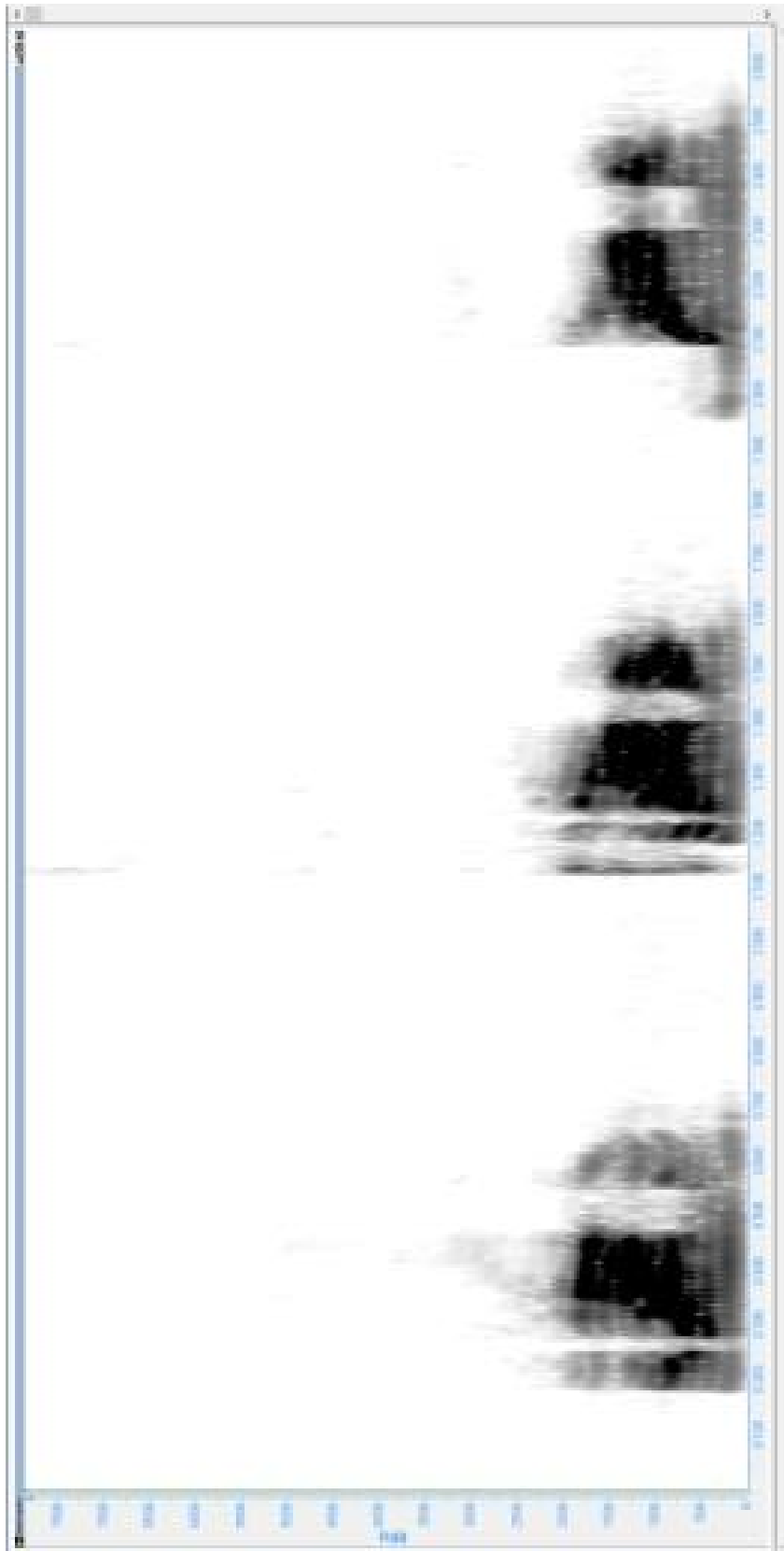
Slika 2.7: NF riječi uz uleknutu audiogramsku krivulju



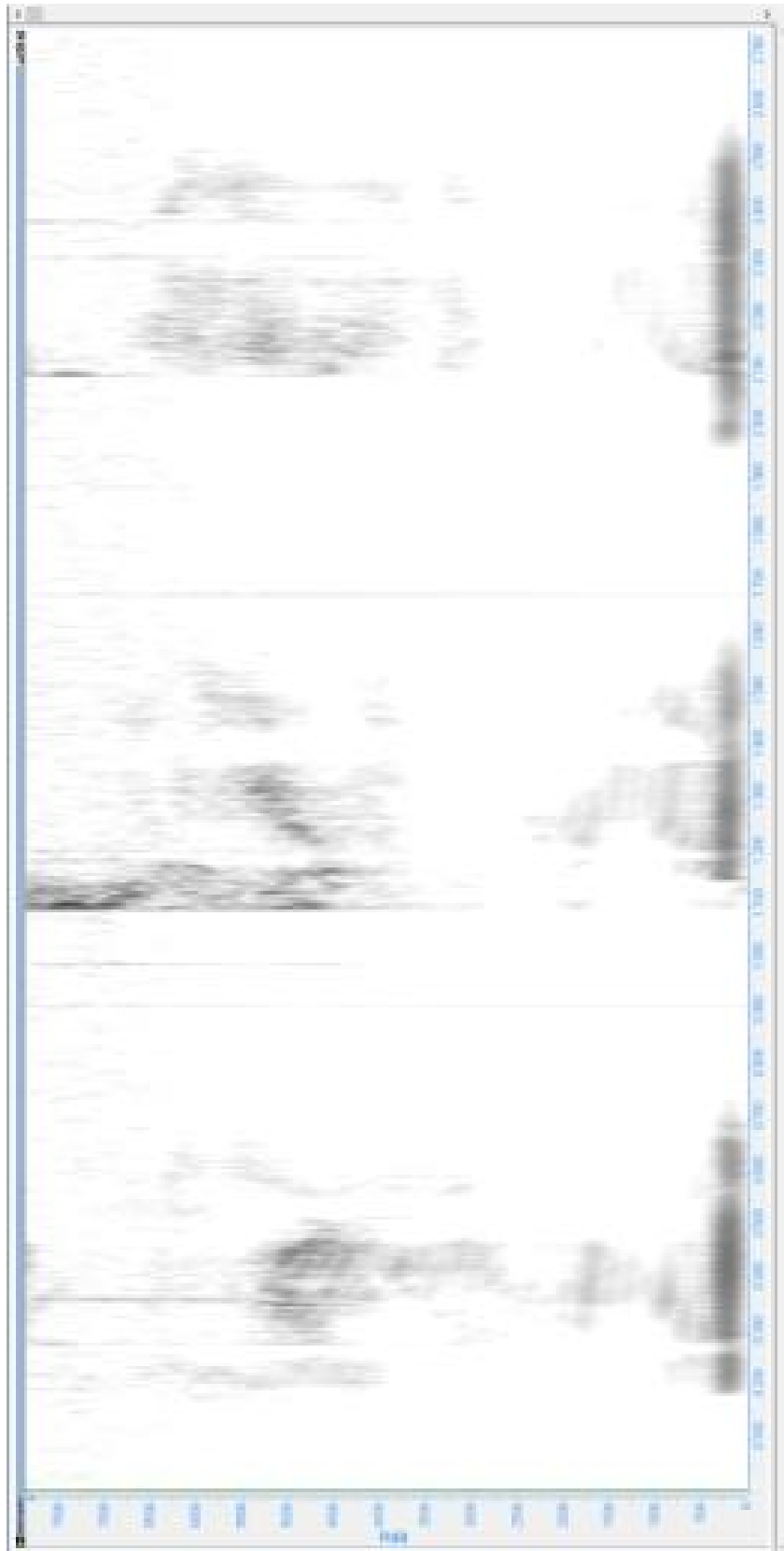
Slika 2.8: SF riječi bez gubitka sluha



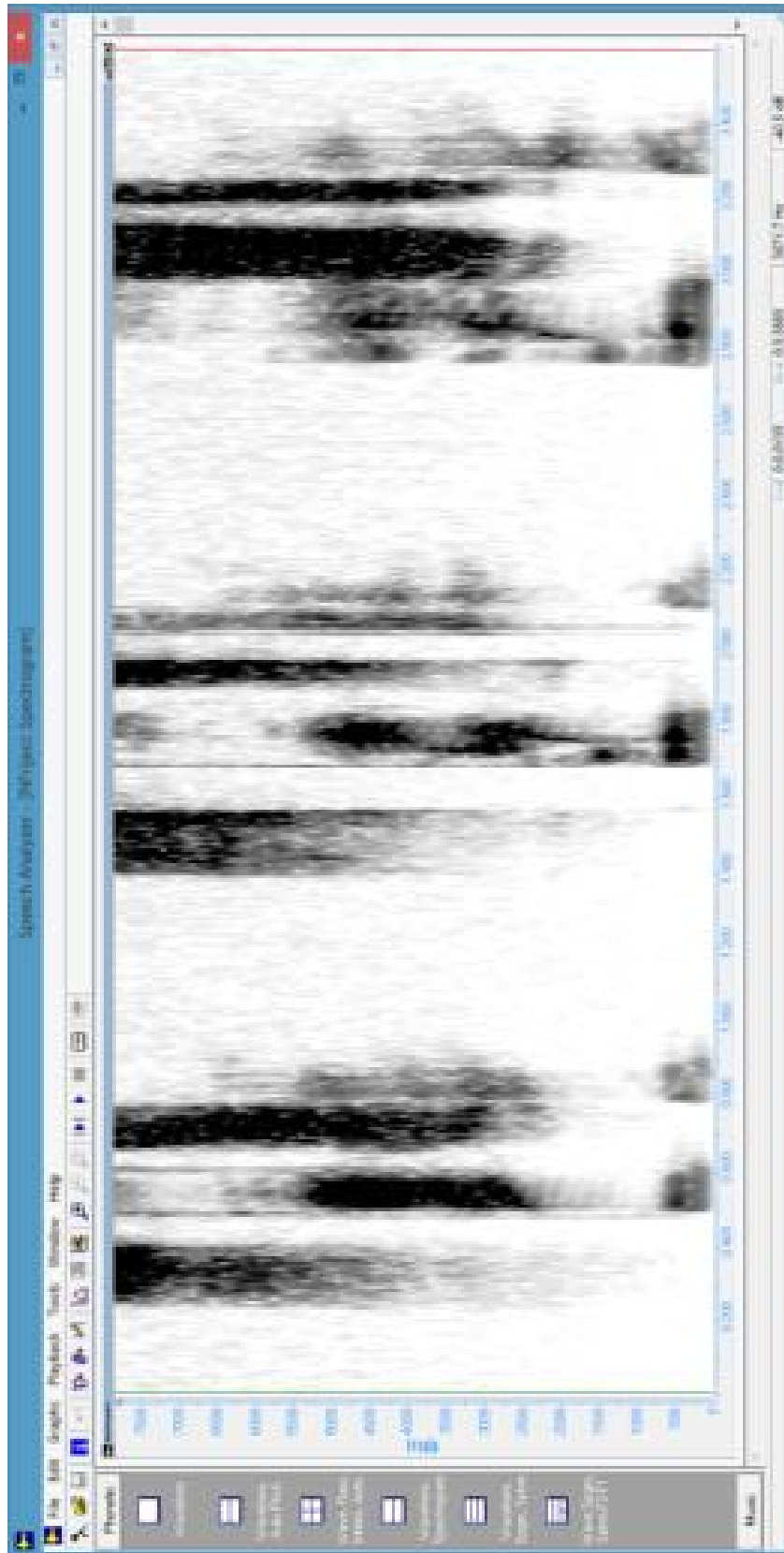
Slika 2.9: SF riječi uz audiogramsku krivulju karakterističnu za prezbiakuziju



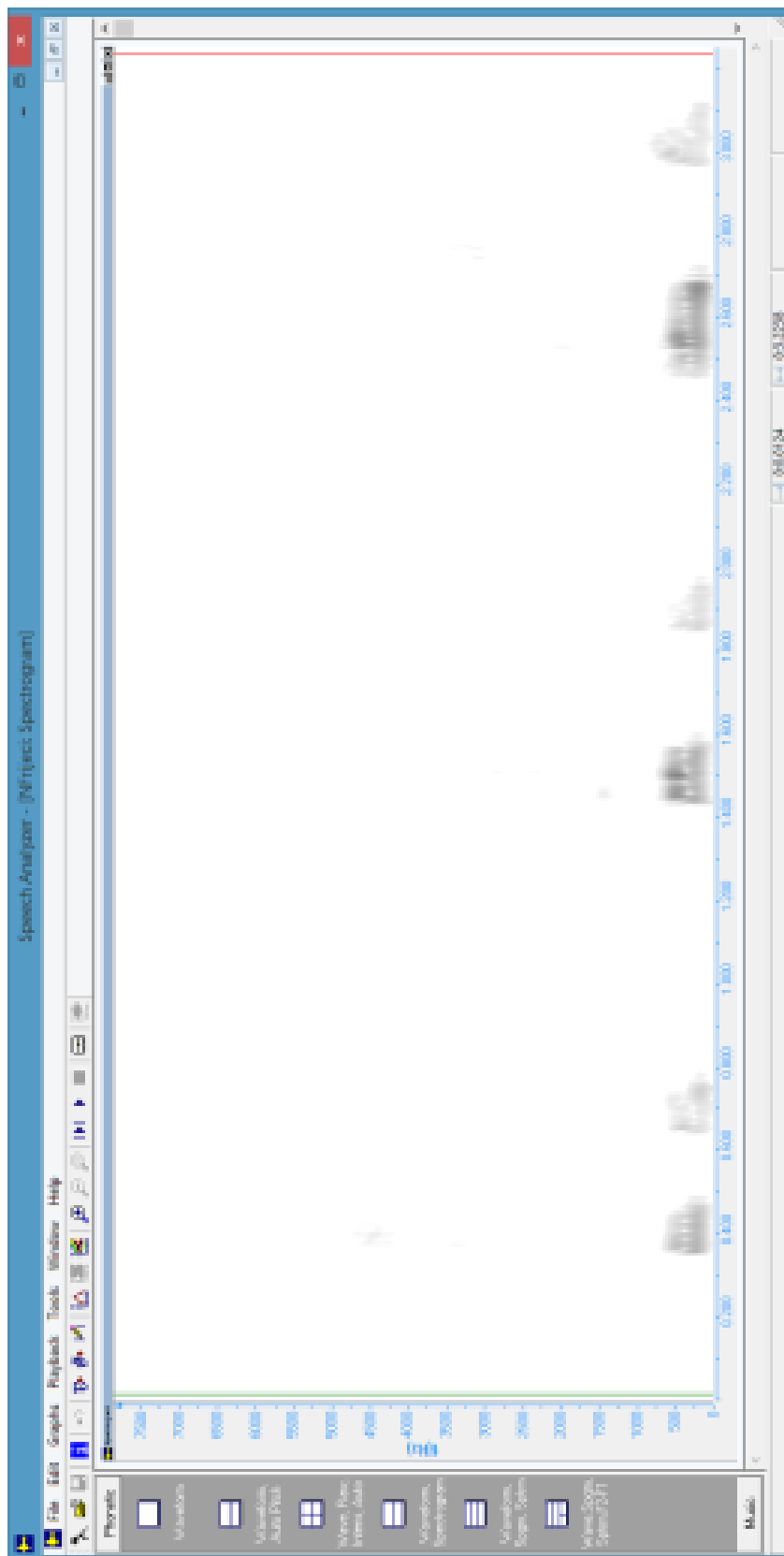
Slika 2.10: SF riječi uz audiogramsku krivulju karakterističnu za gubitak sluha uzrokovan bukom



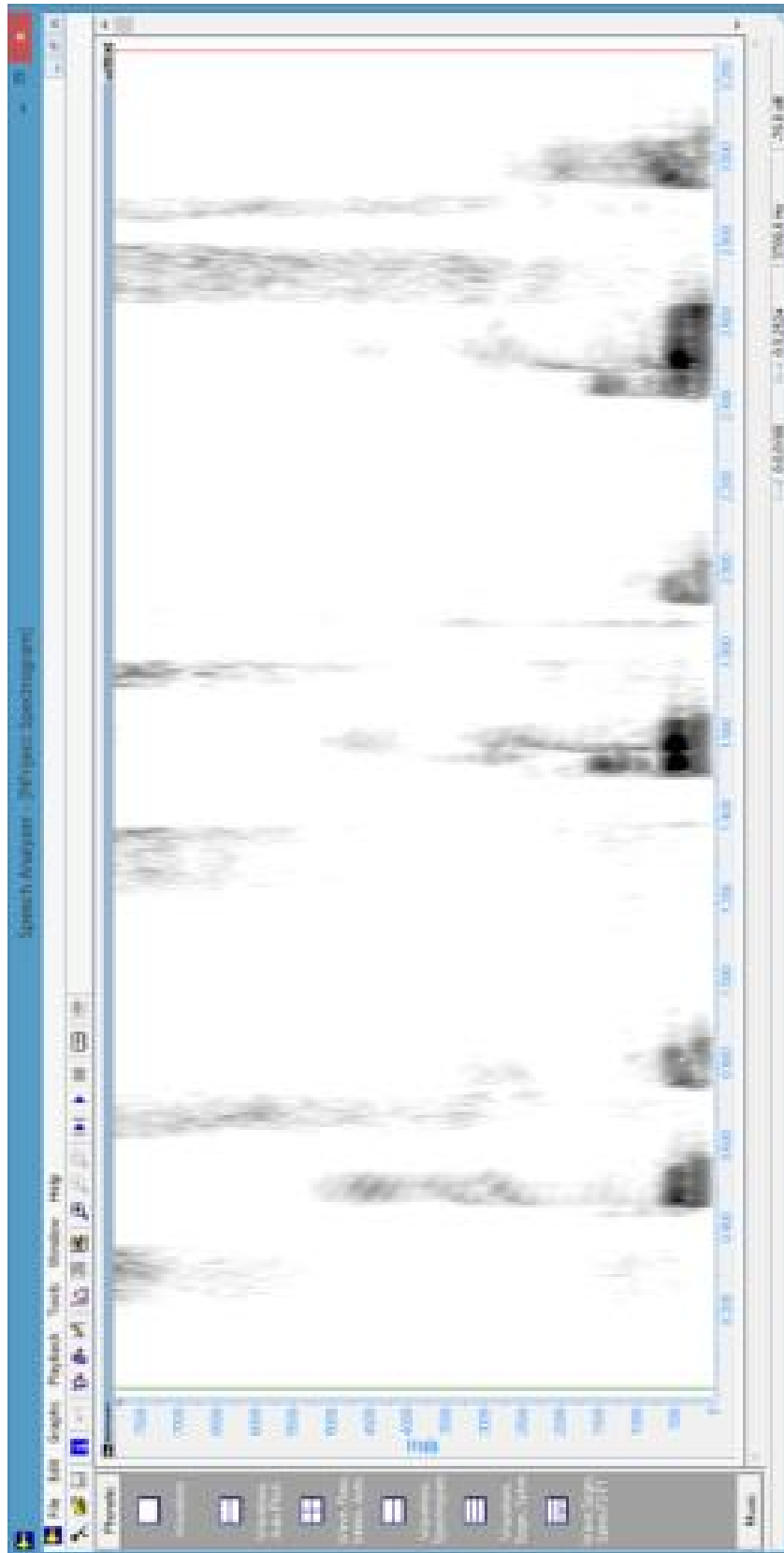
Slika 2.11: SF riječi uz uleknutu audiogramsku krivulju



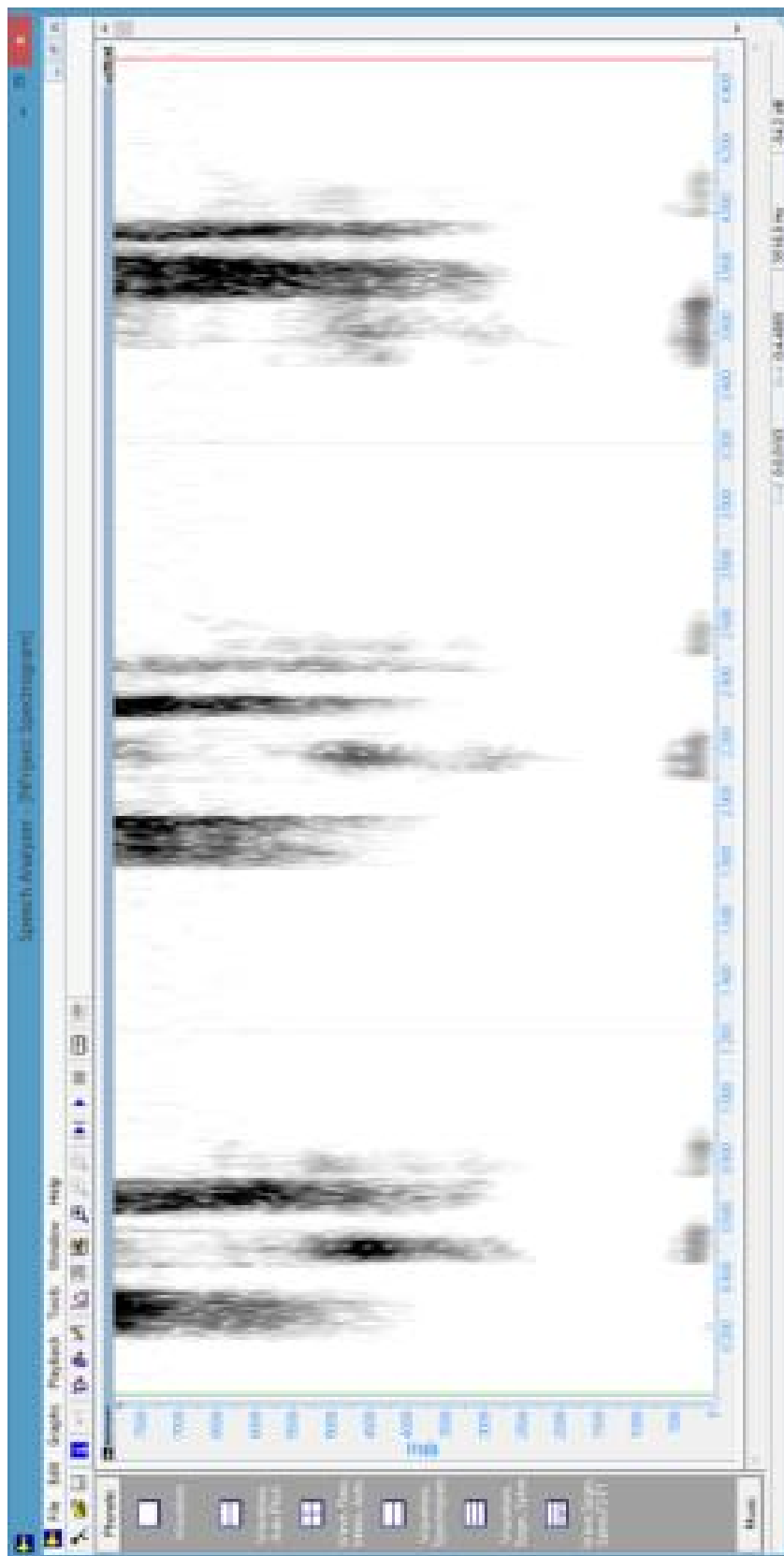
Slika 2.12: VF riječi bez gubitka sluha



Slika 2.13: VF riječi uz audiogramsku krivulju karakterističnu za prezbiakuziju



Slika 2.14: VF riječi uz audiogramsku krivulju karakterističnu za gubitak sluha uzrokovan bukom



Slika 2.15: VF riječi uz uleknutu audiogramsku krivulju

Ispitanici su osobe urednog sluha starosti između 20 i 23 godine. Prosječan audiogram prikazan je na slici 2.7. Ispitanici nemaju odstupanje veće od 5 dB na pojedinoj frekvenciji od prosječnog audiograma. Odabrano je 10 ispitanika.



slika 2.16: Prosječan audiogram ispitanika

Ispitivanje se provodi pomoću kliničkog audiometra Grason-Stadler GSI Pello uz provedeno kalibriranje. Ispitanik se nalazi u akustički izoliranoj prostoriji.

Kreiran je ispitni obrazac u koji ispitanik upisuje riječi redom kako ih čuje. Riječi se upisuju u pauzi od 4 sekunde između dviju riječi. Primjer upitnika prikazan je na slici 2.17.

2.3. ANALIZA REZULTATA

Ispitni obrasci su uspoređeni sa listom riječi te su samo u potpunosti točno napisane riječi okarakterizirane točnim odgovorom. Primjer obrasca prikazan je na slici 2.18. Prikazan je obrazac za obradu rezultata. Prvo slovo prikazuje spol govornika (Ž – žensko, M – muško), drugo slovo tip audiogramske krivulje (P – prezbiakuzija, N – gubitak sluha uzrokovan bukom, C – uleknuta audiogramska krivulja), prva brojka prikazuje razinu (1: -20 dB, 2: -10dB, 3: 0 dB), a druga brojka oznaku riječi prema podacima na dnu. Zelenom bojom označene su ispravno izgovorene riječi.

GODINA ROĐENJA: 1991.			SPOL: M Ž		
Molimo riječi pišite redom, popunjavajući redove!					
Ž P 19	Ž N 19	Ž N 37	MP 18	Ž P 32	MC 29
MN 19	MC 13	MN 31	Ž C 18	MP 39	Ž N 18
MC 12	Ž C 17	MC 14	Ž C 15	MC 24	Ž C 22
MC 32	MP 25	Ž C 35	Ž P 37	Ž C 28	Ž C 27
MC 36	MP 15	MP 13	Ž P 27	Ž N 38	Ž C 16
MP 28	MN 28	Ž C 12	Ž P 13	MN 29	Ž N 39
MP 27	MN 22	Ž P 38	MC 16	MN 32	MP 12
Ž N 14	MP 29	Ž N 15	MN 24	MN 25	MN 12
MC 25	MP 19	Ž C 38	Ž P 29	Ž C 21	Ž N 33
MC 38	Ž C 36	MN 14	Ž N 36	Ž C 31	Ž P 31
MP 33	Ž P 39	Ž P 22	Ž N 24	Ž N 22	MP 24
MN 26	MN 34	Ž C 14	Ž N 27	MC 15	MC 17
MC 28	Ž N 16	MN 39	Ž C 19	Ž C 24	Ž P 15
Ž N 17	MC 31	Ž N 31	MN 15	MP 38	Ž C 25
MP 22	MN 33	MN 37	MC 21	MC 22	MP 17
MC 33	Ž P 36	MP 23	MC 37	MN 18	MP 21
MP 31	Ž C 33	MC 35	Ž N 25	MN 36	Ž P 24
Ž N 28	MN 21	Ž C 13	MP 37	Ž C 29	MP 34
Ž P 21	MC 26	Ž C 32	Ž P 11	MC 23	Ž P 17
MP 26	Ž P 16	Ž N 11	Ž P 12	Ž N 23	MN 17
MP 16	MN 13	MP 11	Ž C 26	MC 28	Ž N 26
Ž P 35	Ž P 26	Ž P 14	MP 14	MP 35	Ž N 12
MC 27	MN 16	MN 35	Ž P 33	Ž P 13	Ž C 11
MN 27	MN 38	Ž N 21	Ž P 18	Ž C 23	Ž C 34
MC 39	MN 23	Ž P 34	MC 11	Ž P 28	MP 36
Ž N 35	MP 32	MC 34	Ž C 37	Ž N 29	MC 19
Ž P 23	Ž C 39	Ž N 34	Ž N 32	Ž P 25	MN 11
1	MUKLO	4	RANA	7	STIĆI
2	UMOR	5	KRAVA	8	SPLITSKI
3	BUMBAR	6	DAMA	9	LIŠĆE

slika 2.18: Ispitni obrazac – obrada rezultata

Rezultati su analizirani i grupirani u odgovarajuće skupine. Samo potpuno točna riječ ocijenjena je razumljivom. Dobiveni rezultati s postotkom točno izgovorenih riječi navedeni su u tablici 2.1.

Tablica 2.1: Rezultati ispitivanja govorne razumljivosti metodom simuliranog gubitka sluha

%	NF	SF	VF	Ukupno
Aud 1	78,33	73,33	45,56	65,74
Aud 2	96,11	90,56	75,56	87,41
Aud 3	61,11	45,56	75,56	61,11

Rezultati označeni s Aud 1 odgovaraju primjenjenom audiogramu karakterističnom za prezbiakuziju, Aud 2 audiogramu gubitka sluha uzrokovanog bukom i Aud 3 uleknutoj audiogramskoj karakteristici.

Napravljena je statistička analiza rezultata metodom *Two-way repeated measures ANOVA*. Na slikama 2.19, 2.20 i 2.21 prikazani su rezultati analize. Redovi A1, A2 i A3 označavaju redom tipove naglušosti prezbiakuziju, gubitak sluha uzrokovan bukom i gubitak sluha s uleknutom audiogramskom krivuljom. Stupci B1, B2 i B3 označavaju redom riječi s pretežno zastupljenim glasovima niskih, srednjih i visokih frekvencija. U svaku ćeliju upisano je 10 redaka koji odgovaraju rezultatima 10 ispitanika. Svaki upis označava broj točno izgovorenih riječi od mogućih 18 riječi (3 riječi iz skupine, dva govornika, 3 razine). Na slici 2.20 prikazan je prosječni broj točno izgovorenih riječi za svaku skupinu, što odgovara rezultatima u tablici 2.1.

Slika 2.21 prikazuje statističku analizu. Oznake su redom: SS – *sum of squares*, df – *degrees of freedom*, MS – *mean square*, F – *F ratio*, P – *P values*. Vrijednosti parametra P prikazuju da postoji ovisnost između pojedinih vrijednosti rezultata ispitivanja, tj. da je vrlo mala vjerojatnost da su dobiveni rezultati slučajni.

Data Entry

	B1	B2	B3	B4
A1	16 16 15 18 13	15 15 13 18 12	11 8 8 13 6	
A2	18 17 18 17 17	16 16 15 16 17	17 13 18 18 10	
A3	14 11 11 15 6	9 8 7 12 8	15 14 16 16 11	
A4				

Reset **Calculate**

Slika 2.19: Unos podataka za statističku analizu

n's for Cells, Rows, Columns, and Total

	B1	B2	B3	B4	Totals
A1	10	10	10	---	30
A2	10	10	10	---	30
A3	10	10	10	---	30
A4	---	---	---	---	---
Totals	30	30	30	---	90

Number of subjects: Measures per subject:

Means for Cells, Rows, Columns, and Total

	B1	B2	B3	B4	Totals
A1	14.1	13.2	8.2	---	11.833333
A2	17.3	16.3	13.6	---	15.733333
A3	11	8.2	13.6	---	10.933333
A4	---	---	---	---	---
Totals	14.133333	12.566667	11.8	---	12.833333

Slika 2.20: Prosječne vrijednosti unesenih rezultata

ANOVA Summary

3rows x 3columns

A = row variable

B = column variable

Subj = subjects

Source	SS	df	MS	F	P
<u>Subjects</u>	194.0556	9			
<u>Within Subjects</u>					
A	390.6	2	195.3	84.0108	<.0001
Subj x A	41.8444	18	2.3247		
B	84.8667	2	42.4333	11.6473	0.000568
Subj x B	65.5778	18	3.6432		
A x B	336.3333	4	84.0833	41.3389	<.0001
Subj x A x B	73.2222	36	2.034		
TOTAL	1186.5	89			

Slika 2.21: Rezultati statističke analize

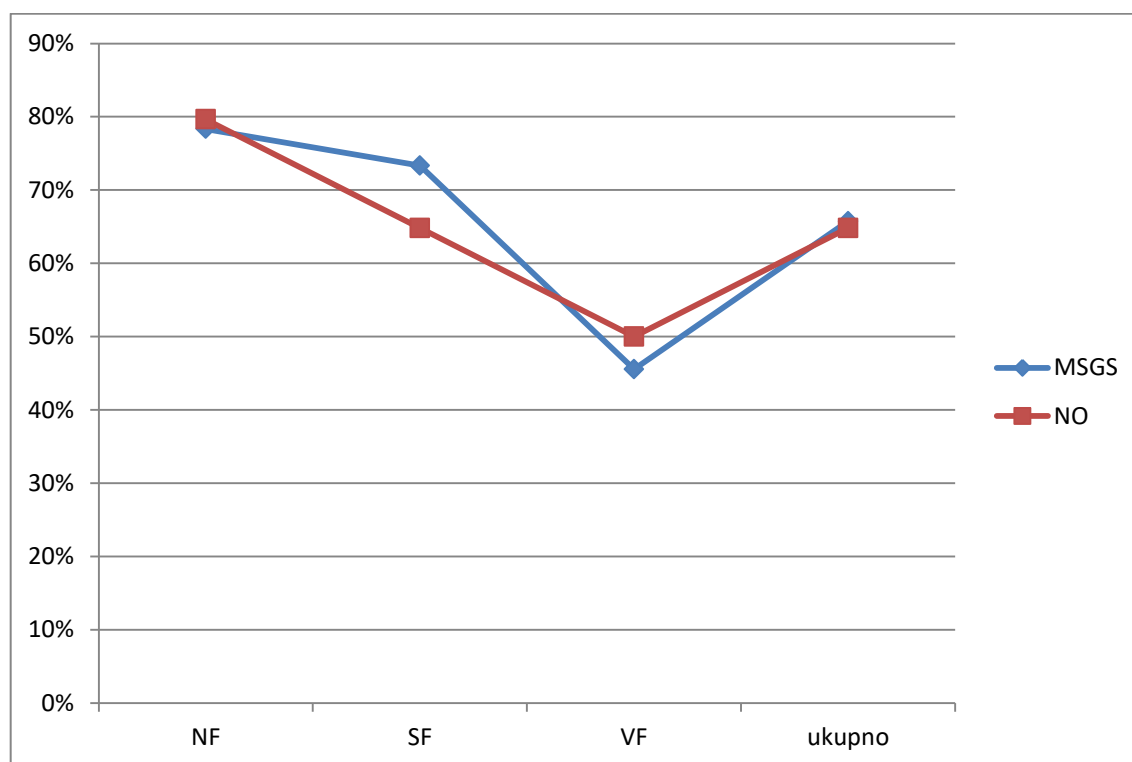
2.3.1. USPOREDBA REZULTATA S REZULTATIMA KOD NAGLUHIH OSOBA

Odabrano je šest osoba s odgovarajućim nagluhostima uz prosjek gubitka sluha na govornim frekvencijama od 50 dB, po dvije osobe za svaki audiogram. Nagluhim osobama puštena je lista riječi bez primjene simuliranog gubitka sluha na razinama 85, 75 i 65 dB u odgovarajućim ispitnim uvjetima. U tablici 2.2 prikazani su dobiveni rezultati govorne razumljivosti.

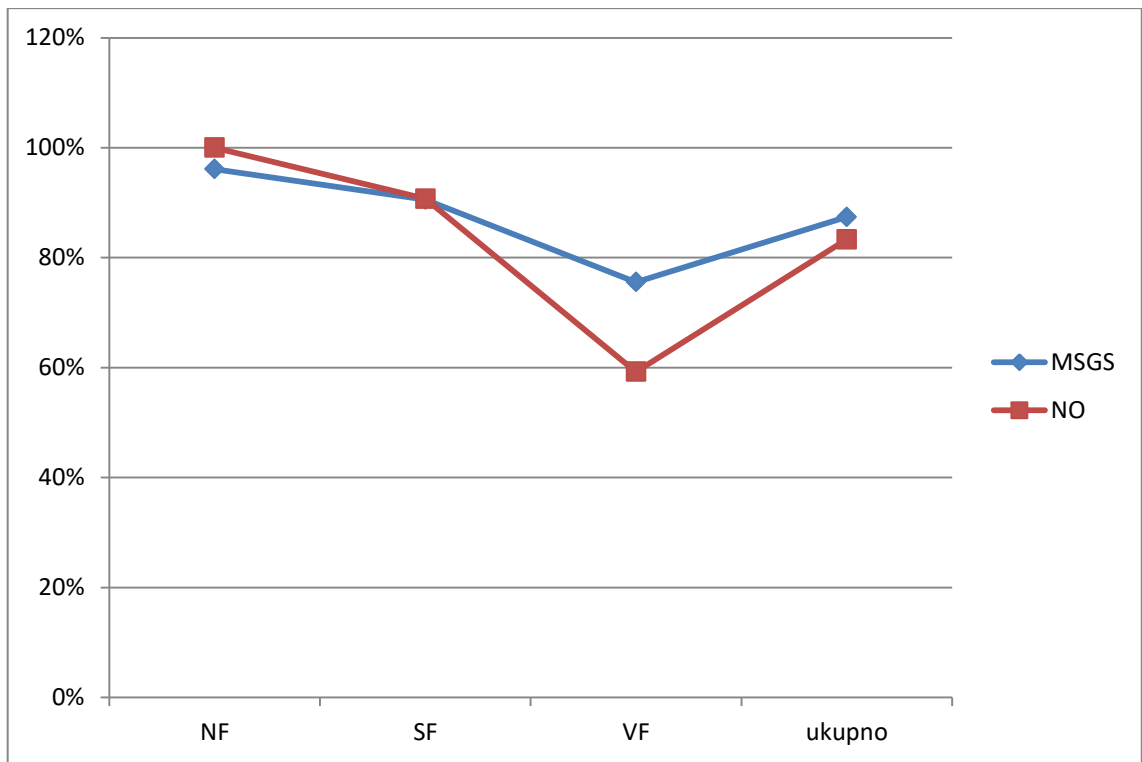
Tablica 2.2: Rezultati ispitivanja govorne razumljivosti kod nagluhих osoba

%	NF	SF	VF	Ukupno
Aud 1	79,63	64,81	50,00	64,81
Aud 2	100,0	90,74	59,26	83,33
Aud 3	64,81	55,56	64,81	61,73

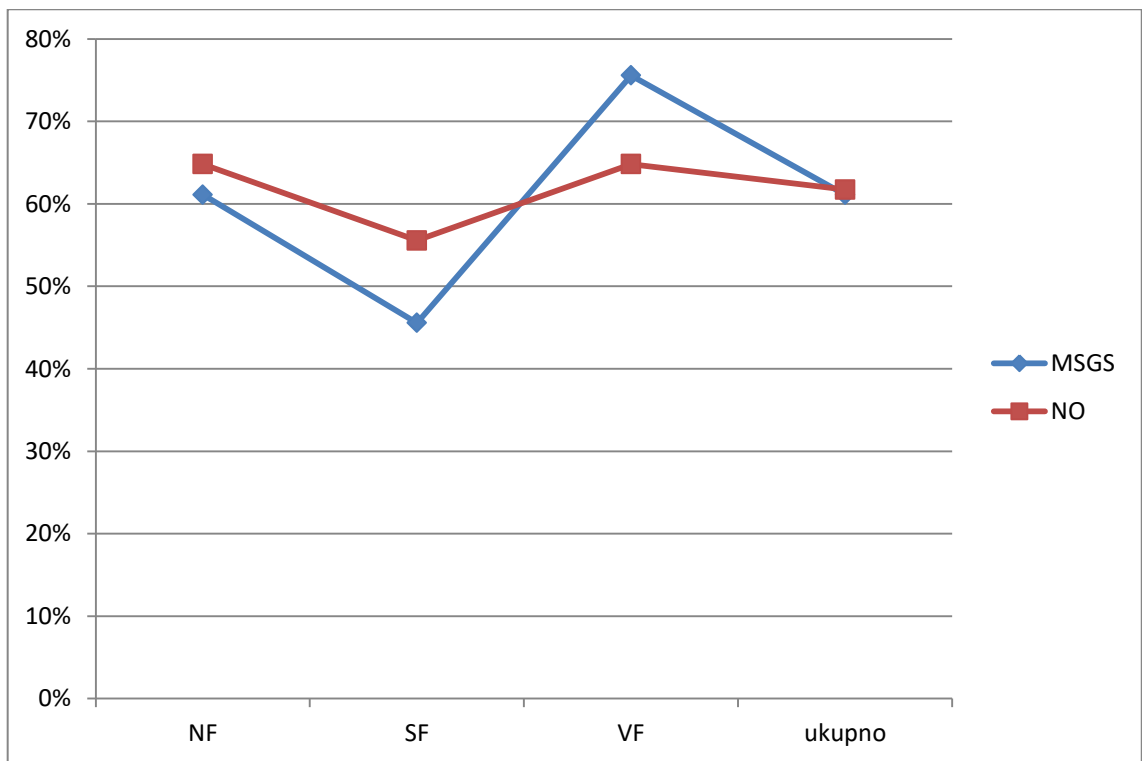
Na sljedeća tri grafa prikazane su usporedbe između rezultata dobivenih metodom simuliranog gubitka sluha (MSGs) i rezultata dobivenih kod nagluhих osoba (NO).



Graf 2.1: Usporedba rezultata metodom simuliranog gubitka sluha i rezultata kod nagluhих osoba za audiogram karakterističan kod osoba s prezbiakuzijom



Graf 2.2: Usporedba rezultata metodom simuliranog gubitka sluha i rezultata kod nagluhих osoba za audiogram karakterističan kod osoba s gubitkom sluha uzrokovanog bukom



Graf 2.3: Usporedba rezultata metodom simuliranog gubitka sluha i rezultata kod nagluhих osoba za audiogram karakterističan kod osoba s uleknutom audiogramskom krivuljom

2.3.2. DISKUSIJA REZULTATA

Istraživanje je pokazalo značajne razlike govorne razumljivosti u ovisnosti o frekvencijskom području dominantnog gubitka sluha. Najveće odstupanje govorne razumljivosti iznosi 45 %, između audiogramske krivulje koja je uobičajena za gubitak sluha uzrokovan bukom i uleknute audiogramske krivulje, pri riječima koje su zastupljene glasovima pretežno srednjih frekvencija (tablica 2.1).

Najveće odstupanje kod govorne razumljivosti riječi zastupljenih glasovima pretežno niskih frekvencija je između audiogramske krivulje uobičajene kod gubitka sluha uzrokovanog bukom i uleknute audiogramske krivulje te iznosi 35 %.

Najveće odstupanje kod govorne razumljivosti riječi zastupljenih glasovima pretežno visokih frekvencija je između audiogramske krivulje uobičajene kod prezbiakuzije i drugih dviju audiogramskih krivulja te iznosi 30 % (tablica 2.3).

Tablica 2.3: Prikaz najvećeg odstupanja kod pojedinih skupina riječi

Tablični prikaz najvećeg odstupanja govorne razumljivosti	Najveća odstupanje u iznosu od	Razlika između audiogramskih krivulja karakterističnih za :
NF riječi	35 %	Gubitak uzrokovan bukom i uleknuta audiogramska karakteristika
SF riječi	45 %	Gubitak uzrokovan bukom i uleknuta audiogramska karakteristika
VF riječi	30 %	Prezbiakuzija i druge dvije audiogramske krivulje

Najveće ukupno govorno razumijevanje postignuto je uz audiogramsku krivulju uobičajeno za gubitak sluha uzrokovan bukom te iznosi 87,41 %, dok je najslabije govorno

razumijevanje postignuto uz uleknutu audiogramsku krivulju i iznosi 61,11 %. Ukupno govorno razumijevanje kod audiogramske krivulje uobičajeno za prezbiakuziju je 65,74 %.

Statističkom metodom *Two-way repeated measures ANOVA* pokazano je da postoji ovisnost između dobivenih rezultata različitih ispitanika s parametrom P manjim od 0,0001 između različitih tipova naglušosti, parametrom P od 0,000568 između različitih skupina riječi te parametrom P manjim od 0,0001 za vezu između tipova naglušosti i skupina riječi.

Rezultati dobiveni kod nagluših osoba s odgovarajućim razinama naglušosti pokazuju slične rezultate s najvećim apsolutnim odstupanjem od 4,08 % i relativnim od 4,67 %.

Metodom simuliranog gubitka sluha na listi riječi i ispitivanju s uredno čujućim osobama izbjegavamo moguće kognitivne faktore, kao što su slabija pažnja i koncentracija te sporije vrijeme reakcije, koji mogu utjecati na rezultat razumijevanja govora kod starijih osoba [34].

Provedeno vrednovanje metode usporedbom sa naglušim osobama pokazalo je manje odstupanje, no za zadovoljavajuće vrednovanje trebalo bi napraviti usporedbu sa većim brojem nagluših osoba. Dobiveni rezultati pokazuju da se predložena metoda može koristiti pri ispitivanjima razumijevanja govora, ali predlaže se daljnje ispitivanje metode kako bi se mogla bolje procijeniti moguća odstupanja za druge vrste naglušosti. Predlaže se ispitivanje na većem uzorku, težim naglušostima i manje uobičajenim audiogramskim krivuljama kao što je npr. uzlazna audiogramska krivulja (*reverse ski-slope*) kod koje je dominantan gubitak sluha na području nižih frekvencija.

3. TONSKA AUDIOMETRIJA VEĆE RAZLUČIVOSTI

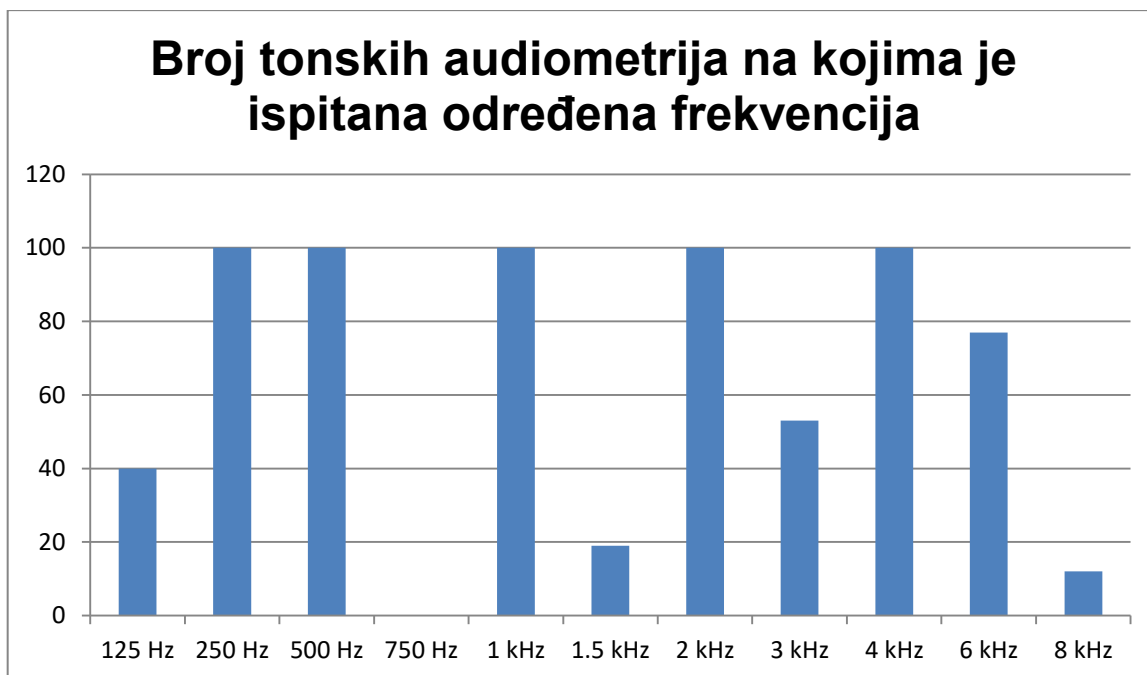
Tonska audiometrija teoretski, zbog ograničenih mogućnosti kliničkih audiometara, izvodi se na najviše 11 frekvencija. To su redom od nižih prema višima: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 750 Hz, 1000 Hz, 1500 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz, 4000 Hz, 6000 Hz i 8000 Hz.

Slušna pomagala, u svojim modelima s najviše mogućnosti, imaju 20 kanala, odnosno 20 frekvencijskih područja u kojima se odvija digitalna obrada signala i u kojima je moguće ugađati glasnoću. Slušno pomagalo kod prvog postavljanja uzima u obzir upravo dobivene rezultate tonske audiometrije, aproksimirajući vrijednosti između njih.

Kako bi se dobila informacija o frekvencijama koje se zaista ispituju tijekom tonske audiometrije u svakodnevnoj praksi u Hrvatskoj, provjereno je 100 nalaza tonske audiometrije iz 6 centara u Zagrebu: KBC Sestre milosrdnice, KBC Zagreb, KB Sveti Duh, Poliklinika SUVAG, KB Dubrava i KB Merkur. Broj mjerenih frekvencija prikazan je u tablici 3.1.

Tablica 3.1: Frekvencije na kojima se ispituje tonska audiometrija (uzorak:100)

Frekvencije (Hz)	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
Broj ispitivanja	40	100	100	0	100	19	100	53	100	77	12



Graf 3.1: Prikaz broja ispitanih pojedinačnih frekvencija na uzorku od 100 tonskih audiometrija

Švicarski proizvođač Phonak u svojim slušnim pomagalima s 20 kanala postavlja centralne frekvencije kanala na sljedećih 20 vrijednosti, prikazanih u tablici 3.2.

Tablica 3.2: Centralne frekvencije 20 kanala – frekventijskih pojaseva kod Phonak slušnih pomagala

Frekvencija / Hz	170	340	520	690	860	1000	1200	1400	1600	1700
Frekvencija / Hz	2000	2300	2700	3000	3400	4000	4800	5900	7500	9600

3.1. ODABIR FREKVENCIJA ZA TONSKU AUDIOMETRIJU VEĆE RAZLUČIVOSTI I DEFINIRANJE ISPITNIH UVJETA

Uz 20 frekvencija oko kojih su postavljeni kanali Phonak slušnih pomagala, odabrane su i preostale frekvencije od 11 standardnih dostupnih kod kliničkih audiometara. Tonska audiometrija veće razlučivosti bit će konačno provedena na 27 frekvencija. Za ispitivanje koristi se računalni program Audiometer v0.1 (dr. sc. Petar Franček), slika 3.1. Računalni program omogućuje izbor željenih frekvencija koje upisujemo u prozor *Tone frequency [Hz]*, to pritiskom na tipku *Add* dodajemo tu frekvenciju u prikaz dolje lijevo.

Odabirom glasnoće na klizaču s desne strane i pritiskom na *Play* reproduciramo odabrani zvuk.



Slika 3.1: Sučelje računalnog programa za tonsku audiometriju veće razlučivosti

Odabrano je deset ispitanika. Ispitanici su korisnici slušnih pomagala s umjerenom nagluhošću.

Tonska audiometrija izvodi se prema ISO 8253:1-2010 standardu, počevši od frekvencije 1000 Hz, prema nižim frekvencijama, ponavljanje 1000 Hz pa prema višim frekvencijama. Kada se pronađe vrijednost praga sluha u koraku od 5 dB pristupa se preciznijoj tonskoj audiometriji u koracima od 1 dB po principu -3dB/+1dB.

Ispitivanje je provedeno u slobodnom slušnom polju za svako uho posebno te za oba uha zajedno. Kod ispitivanje pojedinačnog uha, drugo uho je zatvarano ušnim

umetkom. Između svakog ispitivanja radi se pauza od 15 minuta kako bi se ispitanik odmorio. Ukupno trajanje ispitivanja za svako uho je oko 15 minuta.

3.2. REZULTATI ISPITIVANJA TONSKE AUDIOMETRIJE VEĆE RAZLUČIVOSTI

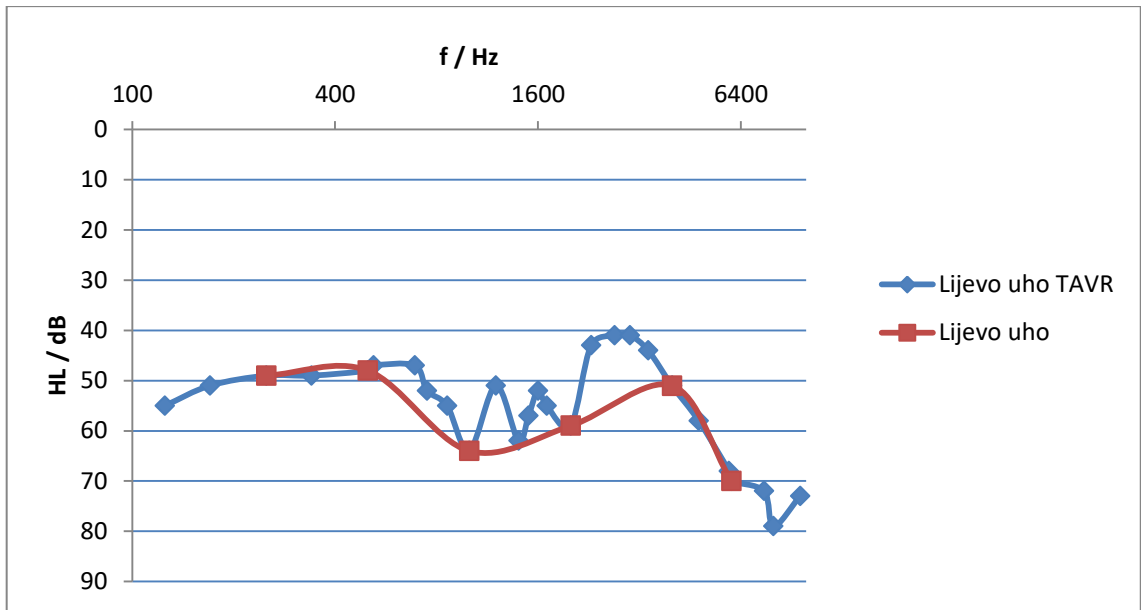
Dobiveni rezultati bilježe se u tablicu. Na tablici 3.3 prikazani su rezultati jednog ispitanika. Dobiveni rezultati prikazani su i grafički na 3 grafa (Slike 3.1, 3.2 i 3.3) u kojima se vidi redom:

- odnos tonske audiometrije veće razlučivosti (TAVR) i tonske audiometrije (TA) koja se provodi u praksi (podaci iz tablice 3.1, frekvencije na kojima se ispituje u minimalno 60% slučajeva) za lijevo uho
- odnos tonske audiometrije veće razlučivosti i tonske audiometrije koja se provodi u praksi (podaci iz tablice 3.1, frekvencije na kojima se ispituje u minimalno 60% slučajeva) za desno uho
- odnos tonske audiometrije veće razlučivosti za lijevo uho, desno uho i oba uha.

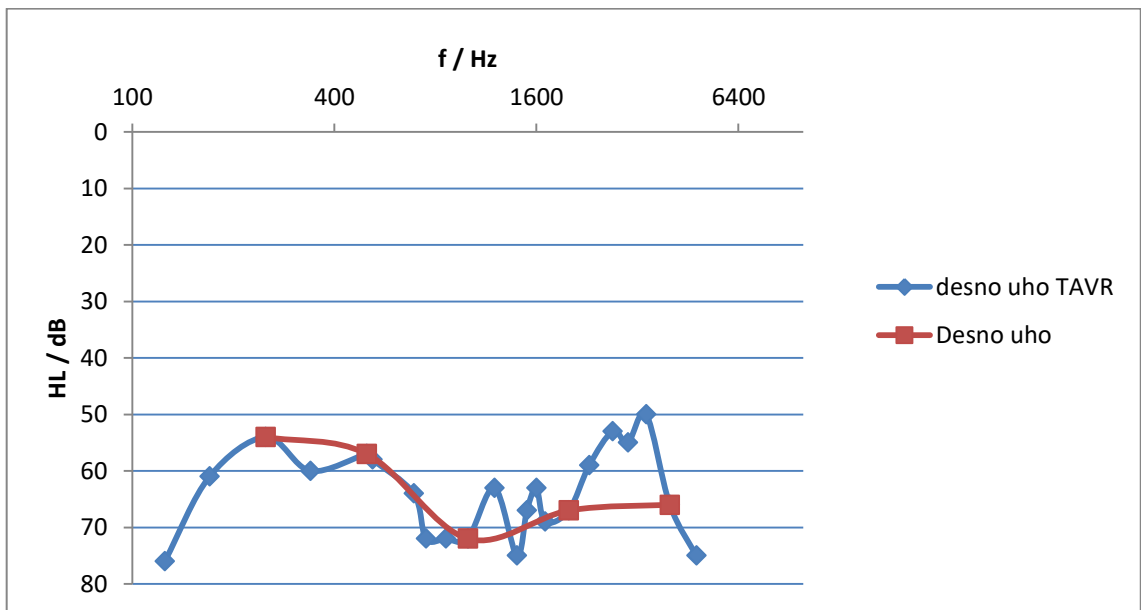
Tablica 3.3: Rezultati tonske audiometrije veće razlučivosti ispitanika 1

Frekvencija/Hz	125	170	250	340	500	520	690	750	860	1000	1200	1400	1500
Lijevo uho / dB HL	55	51	49	49	48	47	47	52	55	64	51	62	57
desno uho / dB HL	76	61	54	60	57	58	64	72	72	72	63	75	67
oba uha / dB HL	58	50	48	52	48	48	49	55	57	67	53	60	55

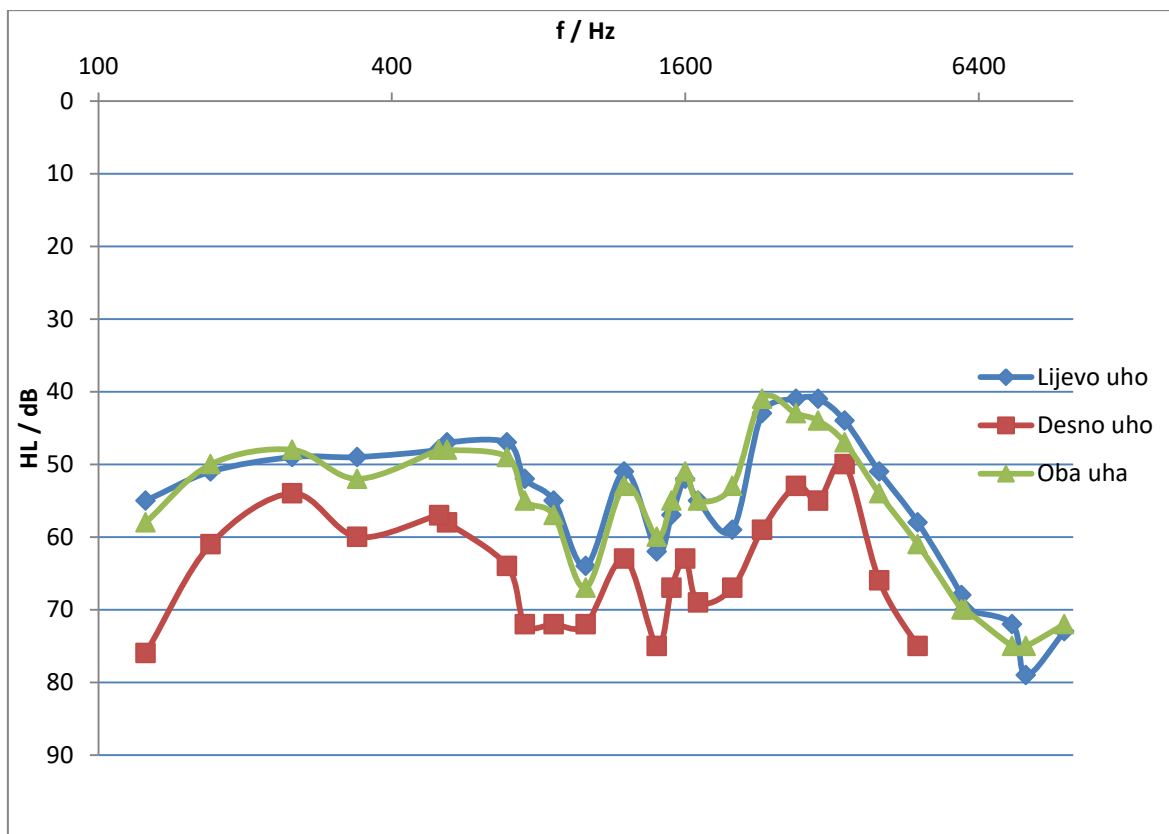
1600	1700	2000	2300	2700	3000	3400	4000	4800	5900	6000	7500	8000	9600
52	55	59	43	41	41	44	51	58	68	70	72	79	73
63	69	67	59	53	55	50	66	75					
51	55	53	41	43	44	47	54	61	70	70	75	75	72



Slika 3.1: Odnos TAVR i TA za lijevo uho



Slika 3.2: Odnos TAVR i TA za desno uho



Slika 3.3: Odnos TAVR za lijevo uho, desno uho i oba uha

3.3. DISKUSIJA REZULTATA

Usporedbom rezultata dobivenih tonskom audiometrijom veće razlučivosti na frekvencijama između onih koje se ispituju u svakodnevnoj praksi vide se značajna odstupanja u iznosima do oko 15 dB u odnosu na aproksimirane vrijednosti kada se te frekvencije ne ispituju.

Značajna odstupanja vidljiva su kod svih ispitanika, a najčešća su u području između 1 kHz i 2 kHz te u području između 2 kHz i 4 kHz. Najmanja odstupanja su u području između 250 i 500 Hz.

Razmatrajući navedene rezultate, slijedi ispitivanje ugođenosti slušnih pomagala nakon korekcija u iznosima pojačana određenih frekvencijskih pojaseva ovisno o odstupanjima rezultata tonske audiometrije veće razlučivosti u njima.

4. PRIJEDLOG LISTE LOGATOMA ZA GOVORNU AUDIOMETRIJU

Slagavši listu logatoma za govornu audiometriju uzela se u obzir raspodjela riječi po frekvencijama sadržanih fonema, u postotku 60 % težih riječi, 20 % srednje teških i 20 % lakših riječi.

Sastavljena lista logatoma glasi po skupinama:

- teške riječi : šuš – šeš – sus – sas – sep – cim – ihi – ici – imi – iri – ziz – ces
- srednje teške riječi : vak – rap – gok – aha
- lakše riječi : mem – vav – ama - ubu

Pomoću stranice random.org generiran je slučajan redoslijed navedenih logatoma te on konačno glasi:

CES – VAK – AMA – VAV – IMI – ZIZ – UBU – IRI – ŠEŠ – RAP

SAS – SEP – GOK – IHI – AHA – MEM – SUS – ICI – CIM - ŠUŠ

U prilogu A prikazana je akustička analiza odabranih logatoma.

4.1. SNIMANJE I OBRADA SNIMKE

Listu logatoma izgovara ženska osoba, po struci profesorica fonetike. Snimanje se odvija u zvučno izoliranoj prostoriji uz odgovarajuću opremu. Lista logatoma izgovara se standardnom brzinom.

Pomoću programa Audacity v2.3.3. radi se obrada snimke. Logatomi se normaliziraju po glasnoći te se dodaje period tišine u pauzi između svaka dva logatoma u trajanju od 4 sekunde. Ukupno trajanje snimke je jedna minuta i 37 sekundi, a ona je izvezena u datoteku .wav formata.

Govorna audiometrija koristi se za ispitivanje razumijevanja govora. Ova subjektivna metoda, prilagođena navedenom listom logatoma, poslužit će kao alat za vrednovanje ugođenosti slušnih pomagala. Glavna prednost ispitivanja govorne razumljivosti logatomima je uklanjanje mogućnosti pogađanja poznatih riječi.

5. PRIJEDLOG PRECIZNOG UGAĐANJA SLUŠNIH POMAGALA ZA POBOLJŠANJE RAZUMIJEVANJA GOVORA

Uz rezultate ispitivanja praga sluha tonskom audiometrijom veće razlučivosti nastoji se dobiti preciznije ugađanje slušnih pomagala te povećanje razumijevanja govora kao posljedicu. Alat za provjeru razumijevanja govora je govorna audiometrija listom logatoma.

5.1. CILJ I METODE ISTRAŽIVANJA

Cilj istraživanja je ispitati postoji li poboljšanje govorne razumljivosti ukoliko se tijekom ugađanja slušnih pomagala uzima u obzir rezultat ispitivanja praga sluha tonskom audiometrijom veće razlučivosti i ako postoji, koliko ono iznosi.

Predlaže se metoda govorne audiometrije listom logatoma subjektivnom metodom vrednovanja ugođenosti digitalnih slušnih pomagala.

Prikazat će se smjernice za ugađanje svakog pojedinačnog kanala, odnosno frekvencijskog pojasa digitalnog slušnog pomagala prema iznosu odstupanja rezultata tonske audiometrije veće razlučivosti od aproksimirane vrijednosti na svakoj ispitivanoj frekvenciji dobivenoj kao rezultat tonske audiometrije koja se svakodnevno provodi u praksi i koja se unosi kao podatak na temelju kojeg računalni program određuje potrebno pojačanje digitalnog slušnog pomagala unutar svakog kanala.

Nagluhim osobama kojima je određen prag sluha tonskom audiometrijom veće razlučivosti bit će postavljena dva slušna pomagala Phonak Audéo Marvel generacije, modeli M90 M-R. Ova RIC slušna pomagala koristit će univerzalnu kupolu za učvršćivanje slušalice unutar zvukovoda, otvorenu (*open dome*) za lakše naglušosti na nižim frekvencijama i zatvorene (*closed dome*) za umjerene naglušosti na nižim frekvencijama.

Digitalna slušna pomagala bit će ugođena uz DSL v5 fitting formulu prema rezultatima tonske audiometrije na frekvencijama 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz i 6000 Hz.

Uz tako ugođena slušna pomagala, ispitat će se govorno razumijevanje uz govornu audiometriju listom logatoma prema standardiziranim uvjetima za govornu audiometriju. Lista riječi bit će puštena na razini od 60 dB.

Svaka od 20 riječi vrednuje se s 5 %. Ukupan rezultat govornog razumijevanja navodi se kao rezultat govorne audiometrije listom logatoma nakon osnovnog ugađanja.

Pristupa se preciznom ugađanju slušnih pomagala na način da se promatra odstupanje audiograma dobivenog tonskom audiometrijom veće razlučivosti (27 frekvencija) u odnosu na audiogram dobiven tonskom audiometrijom na 6 frekvencija. Za odstupanje u iznosu između 2 i 6 dB izvršit će se ugađanje pojačanja odgovarajućeg frekvencijskog pojasa za 2 dB. Za svako odstupanje između 7 i 12 dB izvršit će se ugađanje pojačanja odgovarajućeg frekvencijskog pojasa za 4 dB. Za svako odstupanje od 13 i više dB izvršit će se ugađanje pojačanja odgovarajućeg frekvencijskog pojasa za 6 dB.

Nakon izvršenog ugađanja, ponovit će se govorna audiometrija listom logatoma te će se novi rezultati zabilježiti kao rezultat govorne audiometrije listom logatoma nakon preciznog ugađanja.

5.2. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Na slici 5.1 prikazano je sučelje računalnog programa Target za ugađanje slušnih pomagala švicarskog proizvođača Phonak. Prikazani način rada i proračunato pojačanje dobiveno je odabirom DSL v5 fitting formule i unosom rezultata tonske audiometrije na frekvencijama 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz i 6000 Hz.

Na slici 5.2 prikazan je način rada i proračunato pojačanje nakon unesenih izmjena prema odstupanjima nalaza tonske audiometrije veće razlučivosti od aproksimiranih vrijednosti praga sluha na pojedinim frekvencijama.

Phonak Target 6.0.2 File Fitting Help

Client view Select media... Save & close session

Client: ŠUŠKOVIĆ DAVOR Instruments: Audéo M90-R

Feedback & real ear test AudiogramDirect Global tuning Fine tuning DataLogging Device options

Program manager >>

All programs

AUTOMATIC PROGRAMS

- AutoSense OS 3.0
- Calm situation
- Speech in noise
- Speech in loud noise
- Speech in car
- Comfort in noise
- Comfort in echo
- Music

AutoSense OS 3.0 (streaming)

- Media speech + mic
- Media music + mic

STREAMING PROGRAMS

- Phone call + mic

ADDITIONAL PROGRAMS

+ Add programs...

Fitting: Calm situation (C)

Output - SPL real ear

Verification assistant

MPO	81	91	100	104	108	112	114	114	114	114	114	115	115	115	116	117	115	116	116	116	115	111	112	
All	170	340	520	690	860	1k	1k2	1k4	1k6	1k7	2k	2k3	2k7	3k	3k4	4k	4k8	5k9	7k5	9k6				
G80	12	21	28	29	29	28	24	24	28	30	34	35	35	37	42	43	45	47	48					
G65	13	23	32	35	37	36	33	33	33	33	36	39	42	43	43	45	49	51	52	53	51			
G50	13	24	33	37	39	38	35	35	38	41	44	44	44	45	46	51	52	53	53	51				
CR	1.1	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7				

TK/Gain 35 dB

Automatic fine tuning

Tinnitus balance

SoundRecover2

Program options

Audibility fine tuning

Gain & MPO

Slika 5.2: Pojačanje glasnoće nakon preciznog ugađanja

Rezultati govorne audiometrije listom logatoma prikazani su u tablicama 5.1, 5.2 i 5.3 za svih 10 ispitanika.

Tablica 5.1: Rezultati govorne audiometrije listom logatoma i usporedba

ISPITANIK	Rezultat govorne audiometrije listom logatoma nakon osnovnog ugađanja slušnih pomagala	Rezultat govorne audiometrije listom logatoma nakon preciznog ugađanja slušnih pomagala.	Razlika rezultata
1	20 %	40 %	+ 20 %
2	25 %	55 %	+ 30 %
3	55 %	65 %	+ 10 %
4	35 %	60 %	+ 25 %
5	50 %	65 %	+ 15 %
6	30 %	40 %	+ 10 %
7	30 %	50 %	+ 20 %
8	45 %	70 %	+ 25 %
9	40 %	60 %	+ 20 %
10	30 %	55 %	+ 25 %

Tablica 5.2 Detaljni pregled rezultata govorne audiometrije nakon osnovnog ugađanja slušnih pomagala

RIJEČ	CES	VAK	AMA	VAV	IMI	ZIZ	UBU	IRI	ŠEŠ	RAP	SAS	SEP	GOK	IHI	AHA	MEM	SUS	ICI	CIM	ŠUŠ	ukupno
1	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	da	ne	ne	ne	ne	ne	da	ne	da	ne	ne	da	20%
2	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	da	ne	ne	ne	da	ne	da	ne	da	ne	ne	da	25%
3	ne	ne	da	da	da	ne	ne	da	da	da	ne	ne	ne	ne	da	da	da	ne	da	da	55%
4	ne	ne	da	ne	da	ne	da	da	da	da	ne	ne	ne	ne	da	ne	ne	ne	ne	ne	35%
5	ne	ne	da	ne	da	ne	ne	da	da	da	da	ne	da	ne	da	ne	da	ne	ne	da	50%
6	ne	ne	ne	da	ne	ne	ne	da	da	da	ne	ne	ne	ne	da	ne	ne	ne	ne	da	30%
7	ne	ne	da	ne	ne	ne	ne	da	da	ne	da	ne	ne	ne	da	ne	ne	ne	ne	da	30%
8	da	ne	da	da	da	ne	ne	da	da	ne	da	ne	ne	ne	ne	ne	da	ne	ne	da	45%
9	ne	ne	da	ne	da	ne	da	ne	da	da	da	ne	ne	ne	ne	ne	da	ne	ne	da	40%
10	ne	ne	da	ne	da	ne	ne	da	ne	da	ne	ne	ne	ne	da	ne	da	ne	ne	ne	30%
UKUPNO	10%	0%	70%	30%	60%	0%	20%	70%	90%	60%	40%	0%	20%	0%	80%	10%	70%	0%	10%	80%	36%

Tablica 5.2 Detaljni pregled rezultata govorne audiometrije nakon preciznog ugađanja slušnih pomagala

RIJEČ	CES	VAK	AMA	VAV	IMI	ZIZ	UBU	IRI	ŠEŠ	RAP	SAS	SEP	GOK	IHI	AHA	MEM	SUS	ICI	CIM	ŠUŠ	ukupno
1	da	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	da	ne	da	ne	ne	ne	da	ne	da	da	da	da	40%
2	da	ne	ne	ne	ne	da	ne	da	da	ne	da	da	ne	ne	da	ne	da	da	da	da	55%
3	ne	da	da	da	ne	ne	ne	da	da	da	ne	da	ne	ne	da	da	da	ne	da	da	65%
4	ne	da	da	ne	da	ne	da	da	da	ne	da	da	ne	ne	da	da	da	ne	da	ne	60%
5	ne	ne	da	ne	da	da	ne	da	da	da	da	da	da	ne	da	ne	da	ne	da	da	65%
6	ne	ne	da	da	ne	ne	ne	da	da	da	ne	ne	da	ne	da	ne	ne	ne	ne	da	40%
7	da	ne	da	ne	da	ne	ne	da	da	ne	da	ne	da	ne	da	ne	ne	da	da	da	50%
8	da	ne	da	da	da	da	da	da	da	ne	da	ne	da	ne	ne	ne	da	da	da	da	70%
9	da	ne	da	ne	da	ne	da	ne	da	da	da	da	da	ne	ne	ne	da	da	da	da	60%
10	da	ne	da	ne	da	ne	ne	da	da	da	da	da	ne	ne	da	ne	da	da	ne	da	55%
UKUPNO	60%	20%	80%	30%	70%	30%	30%	80%	100%	50%	80%	50%	50%	0%	80%	20%	80%	40%	80%	90%	56%

Napravljena je statistička analiza metodom sparenog t-testa. Rezultati analize prikazani su na slici 5.3. U koloni A navedeni su redom rezultati govorne razumljivosti nakon osnovnog ugađanja slušnih pomagala, a u koloni B rezultati govorne razumljivosti nakon preciznog ugađanja slušnih pomagala na temelju rezultata preciznije tonske audiometrije.

Rezultati statističke analize daju vrlo male vrijednosti parametra P što pokazuje da postoji ovisnost dobivenih govornih razumljivosti te da je izazito mala vjerojatnost da je do poboljšanja govorne razumljivosti došlo slučajno.

A	B	t-Test: Paired Two Sample for Means		
			Variable 1	Variable 2
20	40			
25	55	Mean	36	56
55	65	Variance	126,6666667	104,4444444
35	60	Observations	10	10
50	65	Pearson Correlation	0,811452184	
30	40	Hypothesized Mean	0	
30	50	df	9	
45	70	t Stat	-9,486832981	
40	60	P(T<=t) one-tail	2,76886E-06	
30	55	t Critical one-tail	1,833112933	
		P(T<=t) two-tail	5,53773E-06	
		t Critical two-tail	2,262157163	

Slika 5.3: Rezultati statističke analize metodom sparenog t-testa

Prosječno razumijevanje govora nakon osnovnog ugađanja slušnih pomagala iznosi 36 %, a prosječno razumijevanje govora nakon preciznog ugađanja iznosi 56 % što je porast od 20 %.

Kod 4 ispitanika porast je bio veći od 20 %, kod 3 ispitanika je bio točno 20 %, a kod 3 ispitanika manji od 20 %. Porast razumijevanja govora ostvaren je kod svih ispitanika i to u rasponu od 10 % do 30 %.

Najmanje izmjereno govorno razumijevanje nakon osnovnog ugađanja iznosilo je 20 % i ostvareno je kod jednog ispitanika, a najveće je bilo 55 %, također ostvareno kod jednog ispitanika.

Najmanje govorno razumijevanje nakon preciznog ugađanja iznosilo je 40 % i ostvareno je kod dvoje ispitanika, a najveće je bilo 70 % što je ostvareno kod jednog ispitanika.

Uz prikazani porast govornog razumijevanja ugađanjem slušnog pomagala prema preciznijoj tonskoj audiometriji, ispitanici opisuju zvuk nakon preciznijeg ugađanja čistim i prirodnijim i svi ocjenjuju takvo ugađanje boljim.

5.3. DISKUSIJA REZULTATA

Preciznim ugađanjem slušnih pomagala na prikazani način ostvaren je značajan porast razumijevanja govora kod svih ispitanika. Tonska audiometrija veće razlučivosti daje dobar uvid u stanje gubitka sluha na frekvencijama u okolišu dominantnog gubitka sluha, ali utjecaj na govorno razumijevanje imaju frekvencije cijelog frekventnog područja.

Metoda govorne audiometrije listom logatoma pokazala je ujednačene rezultate kod svih ispitanika bez većih odstupanja.

Statističkom analizom metodom sparenog t-testa utvrđeno je da postoji ovisnost između rezultata s vrijednošću parametra P od 0,00000277 za *one-tail* odnosno 0,00000554 za *two-tail* obradu rezultata.

Porast govornog razumijevanja metodom preciznog ugađanja može se očekivat kod svih korisnika slušnih pomagala velikog broja kanala. Ostaje za istražiti mogućnost povećanja govornog razumijevanja kod slušnih pomagala s brojem kanala između 10 i 20.

LITERATURA :

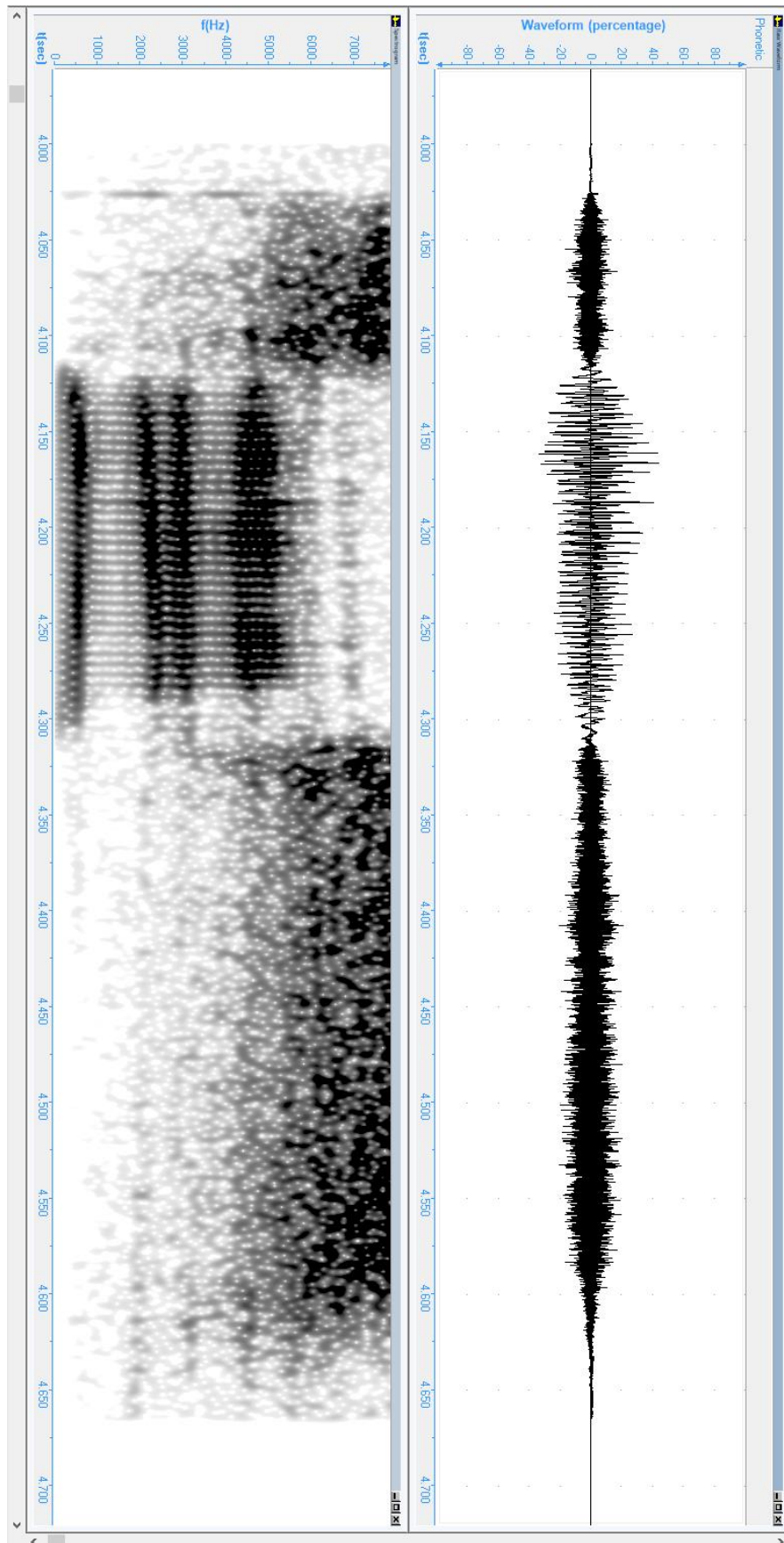
- [1] Ivančević B., Elektroakustika, elektroničko izdanje 3.2, Sveučilište u Zagrebu, 2007.
- [2] Strom K.E.: HR 2013 Hearing Aid Dispenser Survey: Dispensing in the Age of Internet and Big Box Retailers, dostupno na: www.hearingreview.com, 27.7.2019.
- [3] Hougaard S., Ruf S., Egger C.: EuroTrak + JapanTrak 2012: Societal and personal benefits of hearing rehabilitation with hearing aids, *Hearing Review*, 2013, 20(3):16-35
- [4] Pravilnik o ortopedskim i drugim pomagalima, Narodne novine, Broj 62/19, 2019.
- [5] Dillon H.: *Hearing Aids*, 2nd Ed., Boomerang Press, Sydney 2012.
- [6] Phonak Fast Fact: SWORD 3.0, dostupno na www.phonakpro.com, 4.2.2019.
- [7] Burney P.: A survey of hearing aid evaluation procedures; *ASHA* 14:439-444; 1972.
- [8] Smaldino J., Hoene D.: A view of the state of hearing aid fitting practices; *Hearing instruments* 32(1):14-15,38; 1981.
- [9] Studebaker G.: *Hearing aid selection: An overview*; Upper Darby Pa: Monographs in contemporary audiology; 1982.
- [10] Mueller H.G., Grimes A.: *Speech Audiometry for hearing aid selection*; *Seminars in Hearing* 4(3):255-286; 1983.
- [11] Scollie S, Seewald R, Cornelisse L., Moodie S., Bagatto M., Laurnagaray D., Beaulac S., Pumford J.: The desired sensation level multistage input-output algorithm; *Trends in amplification* 9(4):159-197; 2005.
- [12] Keidser G., Brew C., Peck A.: Proprietary fitting algorithms compared with one another and with generic formulas; *Hearing Journal* 56(3):28-38; 2003.
- [13] Bentler R.: *Advanced hearing aid features: Do they work?*; Convention of the American Speech, Language and Hearing Association; Washington D.C.; 2004.
- [14] Western national centre for audiology: DSL v5 by Hand, dostupno na www.dslio.com, 5.9.2015.
- [15] Scollie S.: DSL version v5.0: Description and Early Results in Children, *Audiology Online*, 15.1.2007., dostupno na www.audiologyonline.com, 5.9.2015.
- [16] Guberina P.: *Govor i čovjek. Verbotonalni sistem*. Zagreb: Atresor naklada, 2010.
- [17] Runjić N.: *Funkcionalna dijagnostika prezbiakuzije*. Doktorski rad, Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2000.
- [18] Padovan I.: *Temelji kliničke audiometrije*, Školska knjiga, Zagreb, 1957.
- [19] Pansini M. : *Klinička vrijednost verbotonalne audiometrije*, Zagreb, 1965.

- [20] Welge-Lussen A. et al: Speech Audiometry with logatomes, *Laryngorhinootologie*, Feb 1997, 76(2): 57-64
- [21] Gortan D.: *Audiologija*, Spiridion Brusina, Zagreb, 1995.
- [22] Macrae JH, Dillon H.: Gain, frequency response and maximum output requirements for hearing aids, *J Rehabil Res Dev*, 33(4):363-376, 1996.
- [23] Danaher ES, Pickett JM.: Some masking effects produced by low-frequency vowel formants in persons with sensorineural loss, *J Speech Hear Res*, 18:79-89, 1975.
- [24] Glasberg BR, Moore BCJ.: Psychoacoustic abilities of subjects with unilateral and bilateral cochlear hearing impairments and their relationship to the ability to understand speech, *Scand Audiol Suppl*, 32:1-25, 1989.
- [25] Zwicker E., Schorn K.: Temporal resolution in hard-of-hearing patients, *Audiology*, 21:474-494, 1982.
- [26] Festen J., Plomp R.: Effects of fluctuating noise and interfering speech on the speech-reception threshold for impaired and normal hearing, *J Acoust Soc Amer*, 88(4):1725-36, 1990.
- [27] Kulak et al.: The effect of fitting formulas in programmable hearing aids on speech discrimination in noise, *National Center for Biotechnology Information*, 17(5):278-82, 2007.
- [28] Compton-Conley et al: Performance of directional microphones for hearing aids, real world versus simulation, *J Am Acad Audiol*, 15(6):440-455, 2004.
- [29.] Levitt H.: Digital hearing aids: past, present and future, *Practical hearing aid selection and fitting*, Tobin H (ed) xi-xxiii, Dept of Veterans Affairs, Washington DC, 1997.
- [30] Bentler R.A. et al: Digital Noise Reduction: outcomes from laboratory and field studies, *Int J Audiol*, 47(8):447-460, 2008.
- [31] Glista D. et al: Evaluation of nonlinear frequency compression: Clinical outcomes. *International Journal of Audiology*, 48, 632-644, 2009.
- [32] Lewis M.S. et al: Speech perception in noise: directional microphones versus frequency modulation
- [33] Thibodeau L.: Benefits of adaptive FM systems on speech recognition in noise for listeners who use hearing aids, *Am J Audiol*, 19(1):36-45, 2010
- [34] Baskent D. et al: Cognitive Compensation of Speech Perception With Hearing Impairment, Cochlear Implants, and Aging: How and to What Degree Can It Be Achieved?, *Trends in Hearing*, Vol.20, 2016.

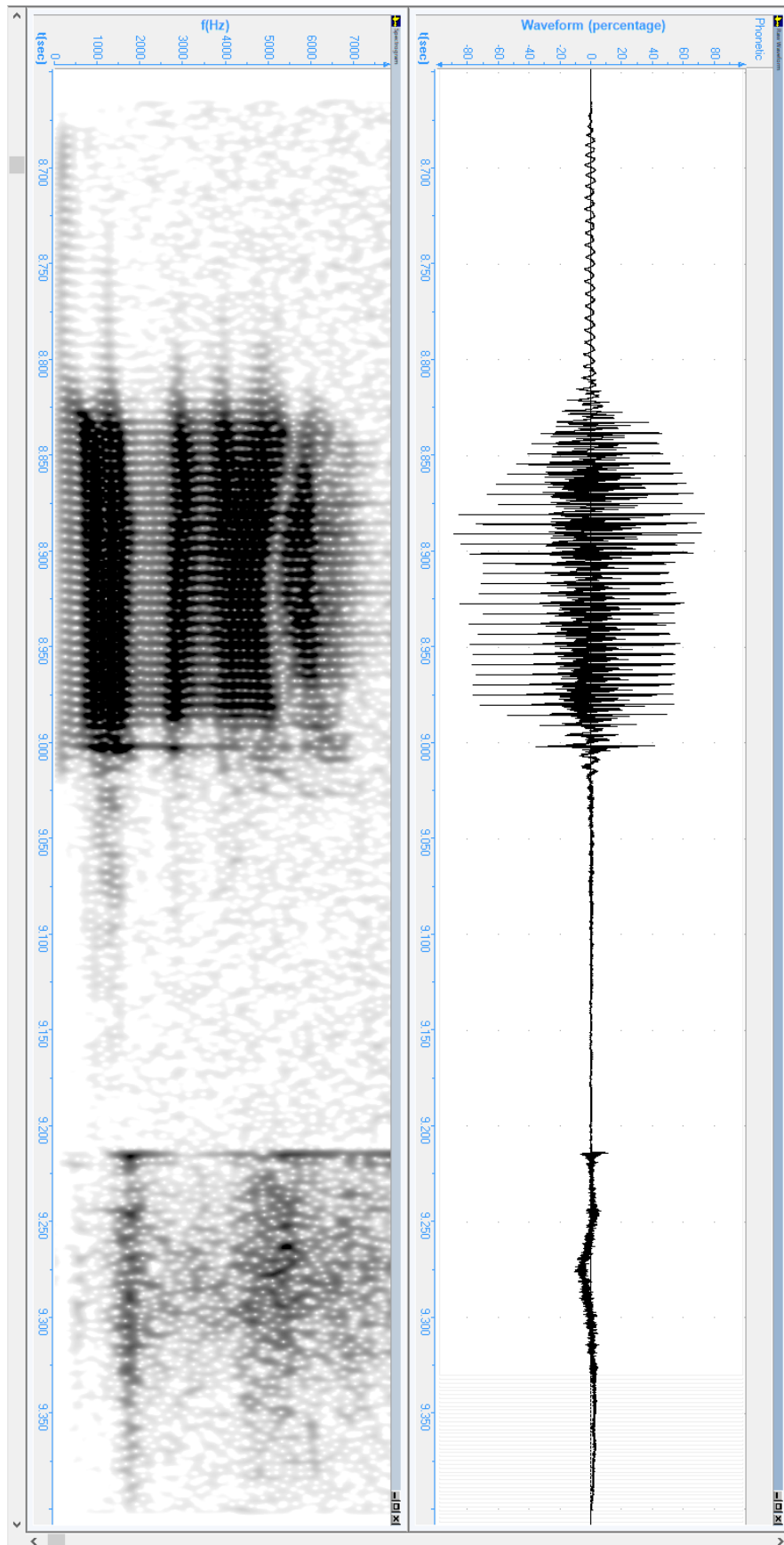
- [35] Babić S., Finka B., Moguš M.: Hrvatski pravopis, VII. izdanje, Zagreb: Školska knjiga d.d., 2003.
- [36] Gregurić M.: Elektroakustička mjerenja sluha u svrhu optimalizacije karakteristika slušnih aparata, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, elektrotehnički fakultet, 1972.
- [37] Maltby M.: Occupational audiometry: monitoring and protecting hearing at work, Oxford: Elsevier Ltd., 2005.
- [38] Mladina R., Otorinolaringologija: udžbenik Zdravstvenog veleučilišta u Zagrebu, Zagreb: Školska knjiga d.d., 2008.
- [39] Ries M.: Audiološke pretrage, Vaše zdravlje, broj 44, listopad-studeni 2005.
- [40] Desloge, J.G. et al: Auditory-Filter Characteristics for Listeners With Real and Simulated Hearing Impairment, Trends in Amplification, Vol. 16, 1:19-39, 2012.
- [41] Souza P.E.: Effects of Compression on Speech Acoustics, Intelligibility, and Sound Quality, Trends in Amplification, Vol.6,4:131-165, 2002.
- [42] Šušković D., Fajt S., Matić D.: Speech intelligibility improvement for hearing impaired with hearing instruments and fm systems, The 8th Congress of the Alps Adria Acoustics Association, Zagreb, Croatia, 2018.
- [43] Šušković D., Fajt S.: Noise-induced hearing loss, The 5th Congress of the Alps Adria Acoustics Association, Petrčane, Croatia, 2012.
- [44] Šušković D., Fajt S, Obradović T.: Gubitak sluha uzrokovan bukom, 2. hrvatski kongres psihosomatske medicine i psihoterapije „Zajedno u ratu – zajedno u zdravlju“, Karlovac, 19.-21.9.2019.

**PRILOG A : AKUSTIČKA ANALIZA ODABRANIH RIJEČI S LISTE
LOGATOMA ZA GOVORNU AUDIOMETRIJU**

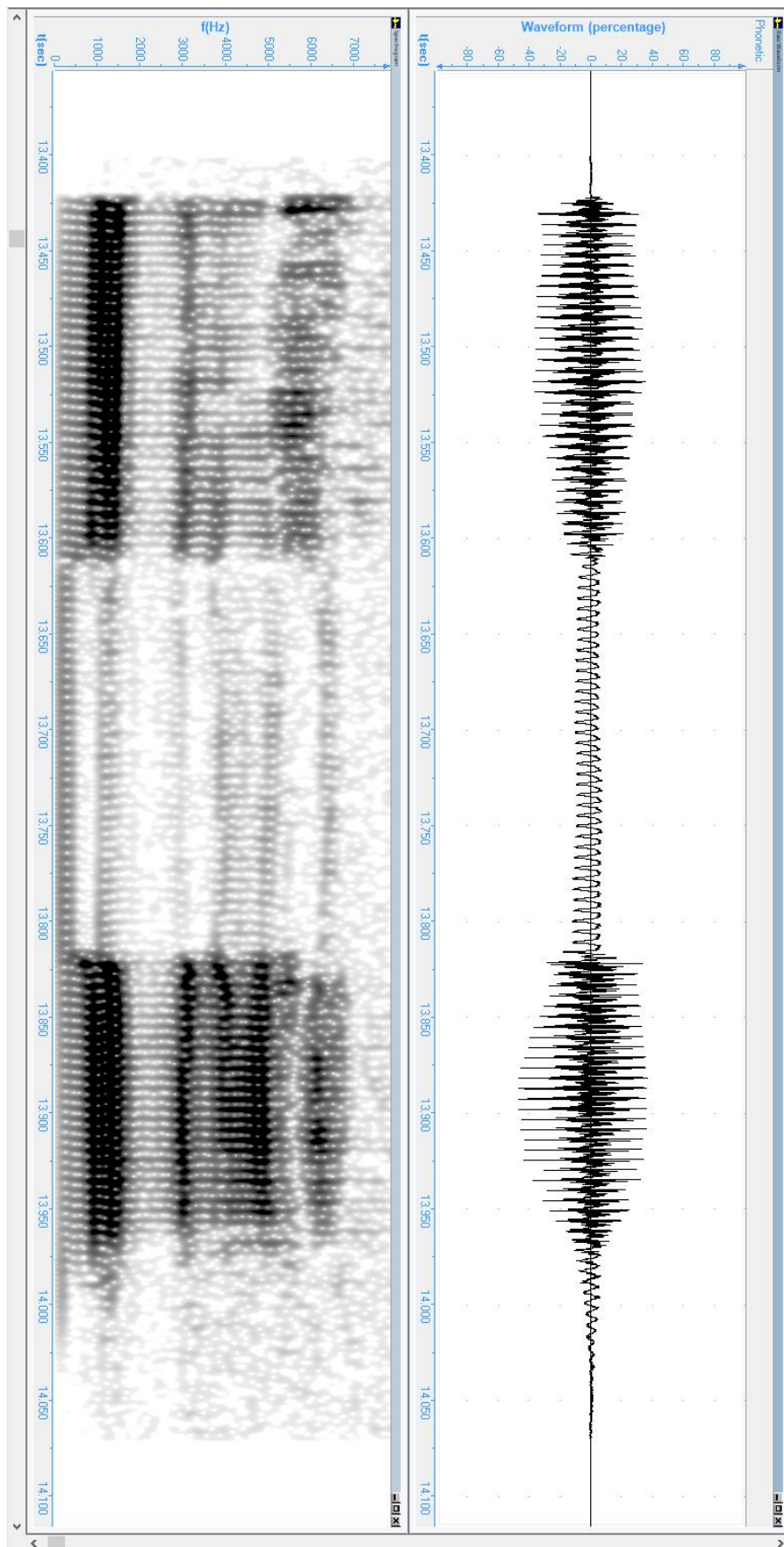
U nastavku slijede valni oblici i spektrogrami riječi s liste logatoma za govornu audiometriju, redom : CES – VAK – AMA – VAV – IMI – ZIZ – UBU – IRI – ŠEŠ – RAP – SAS – SEP – GOK – IHI – AHA – MEM – SUS – ICI – CIM – ŠUŠ.



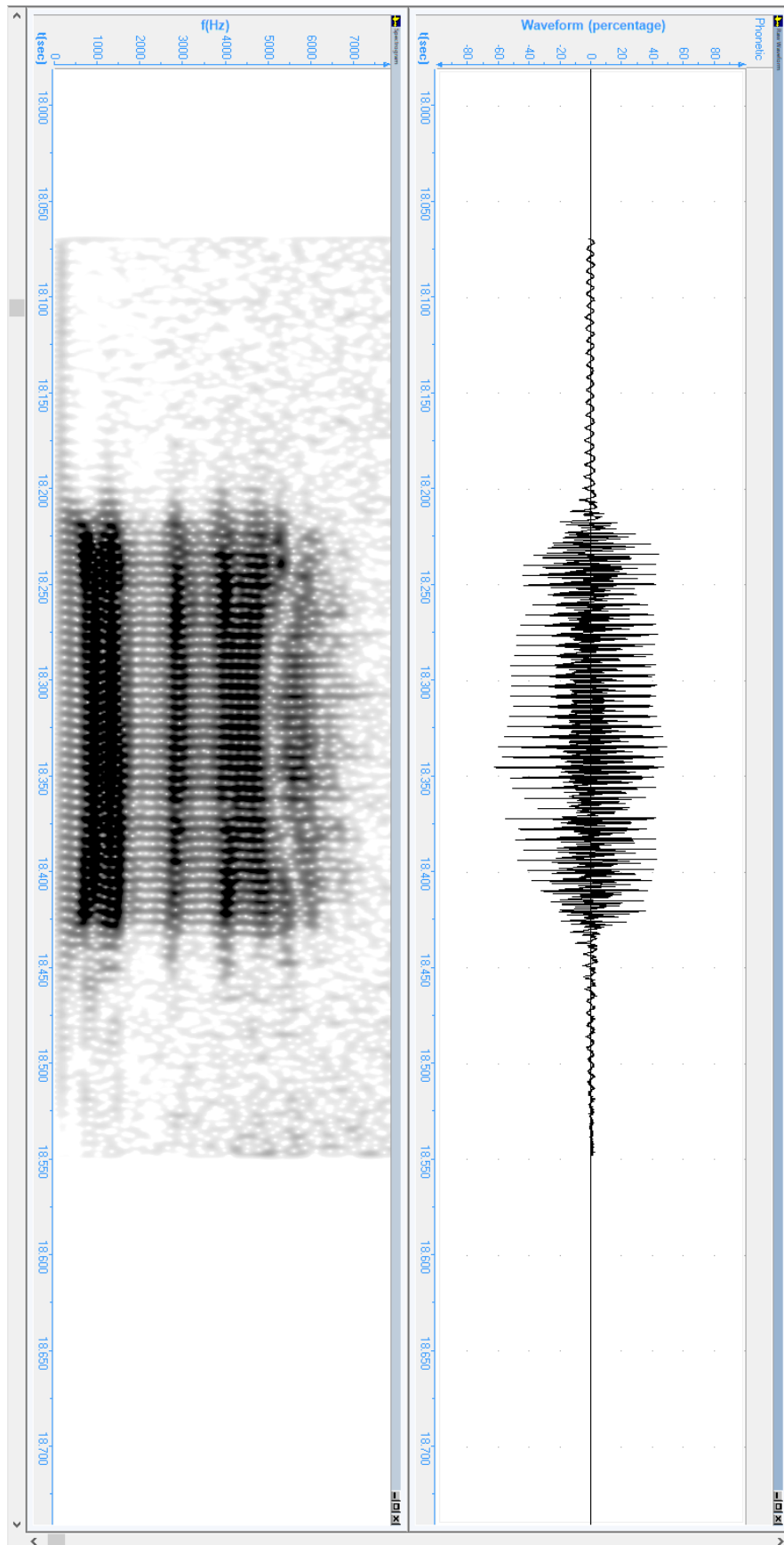
Slika A-1: Prikaz riječi CES



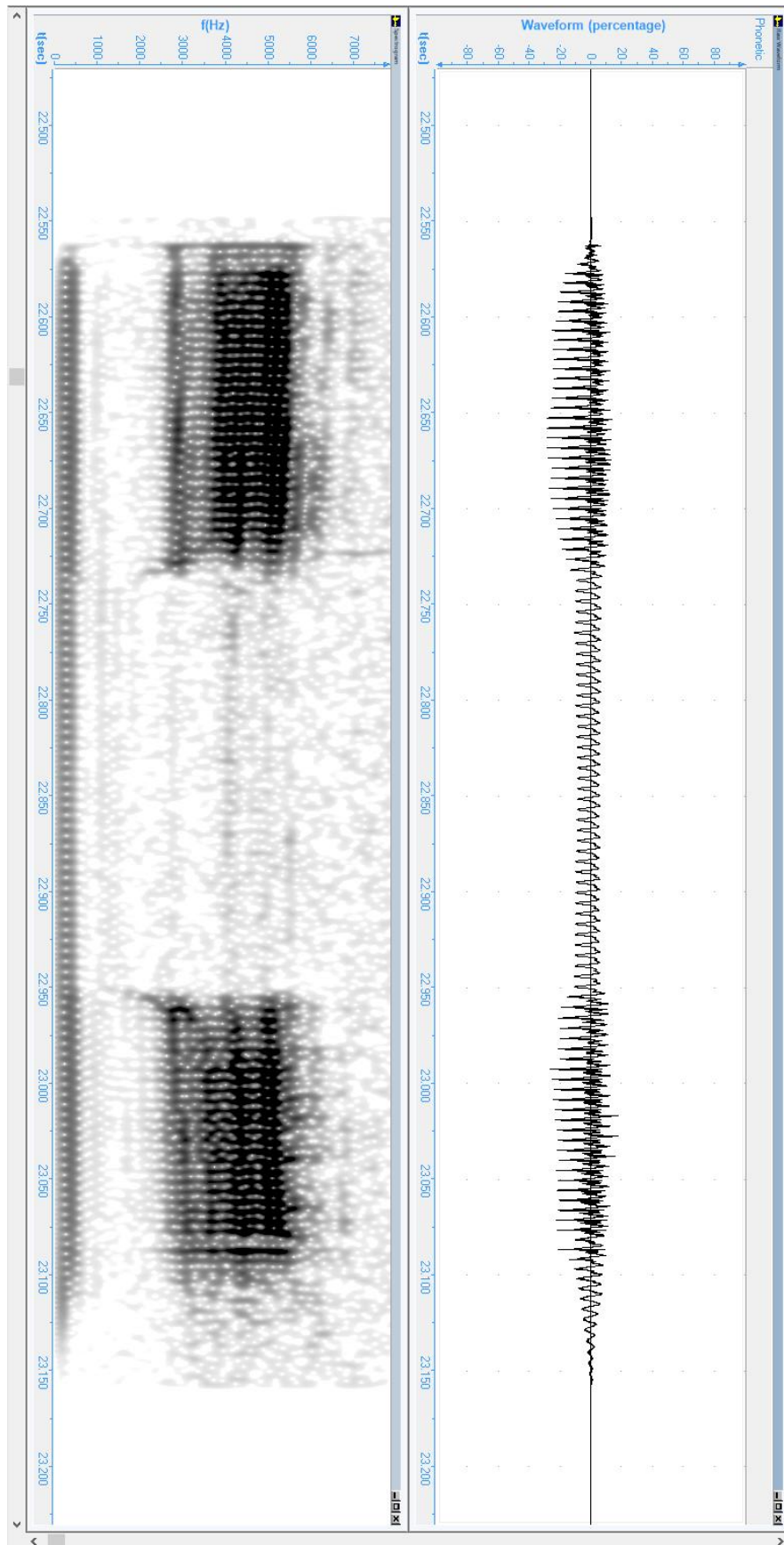
Slika A-2: Prikaz riječi VAK



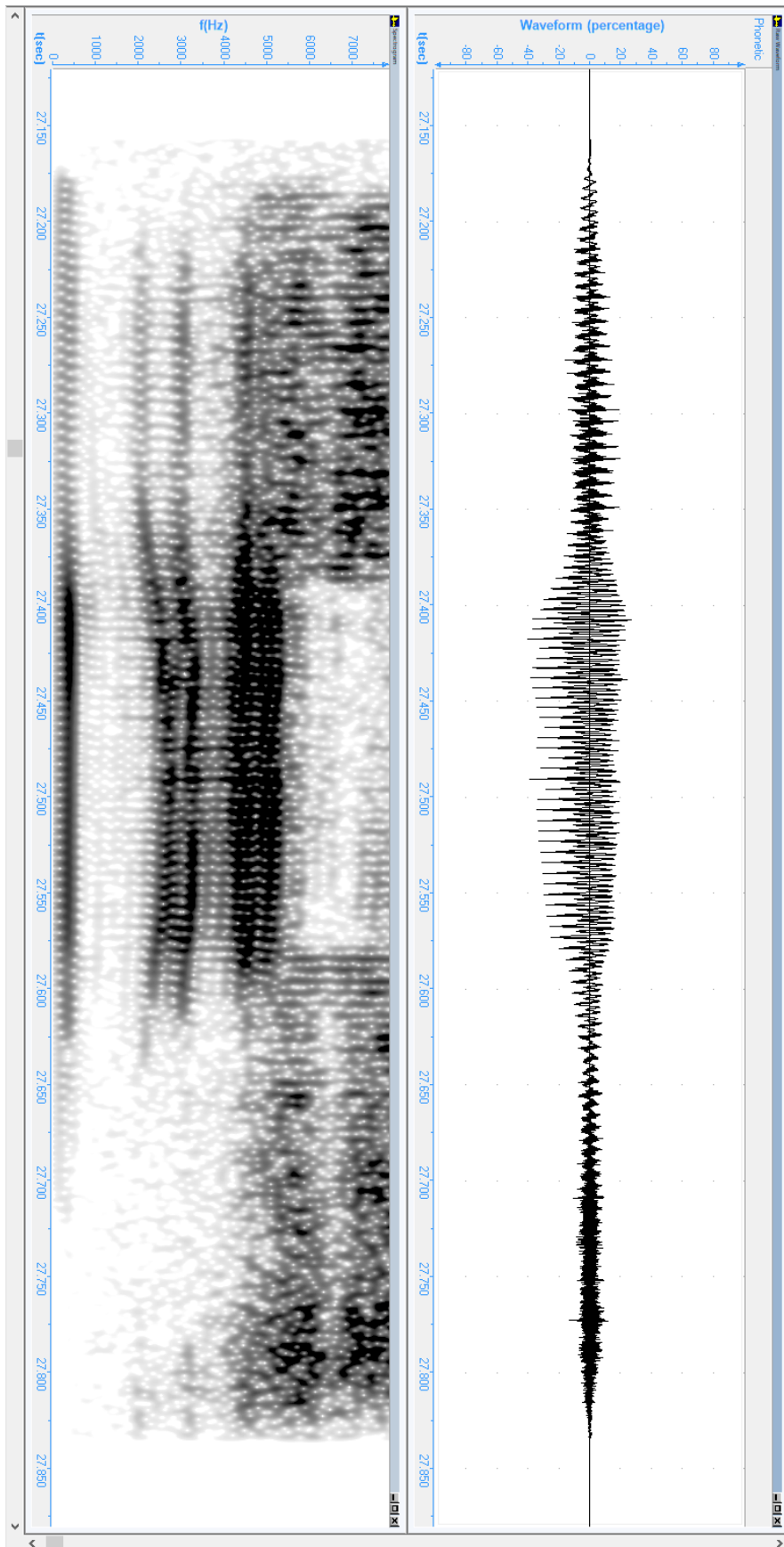
Slika A-3: Prikaz riječi AMA



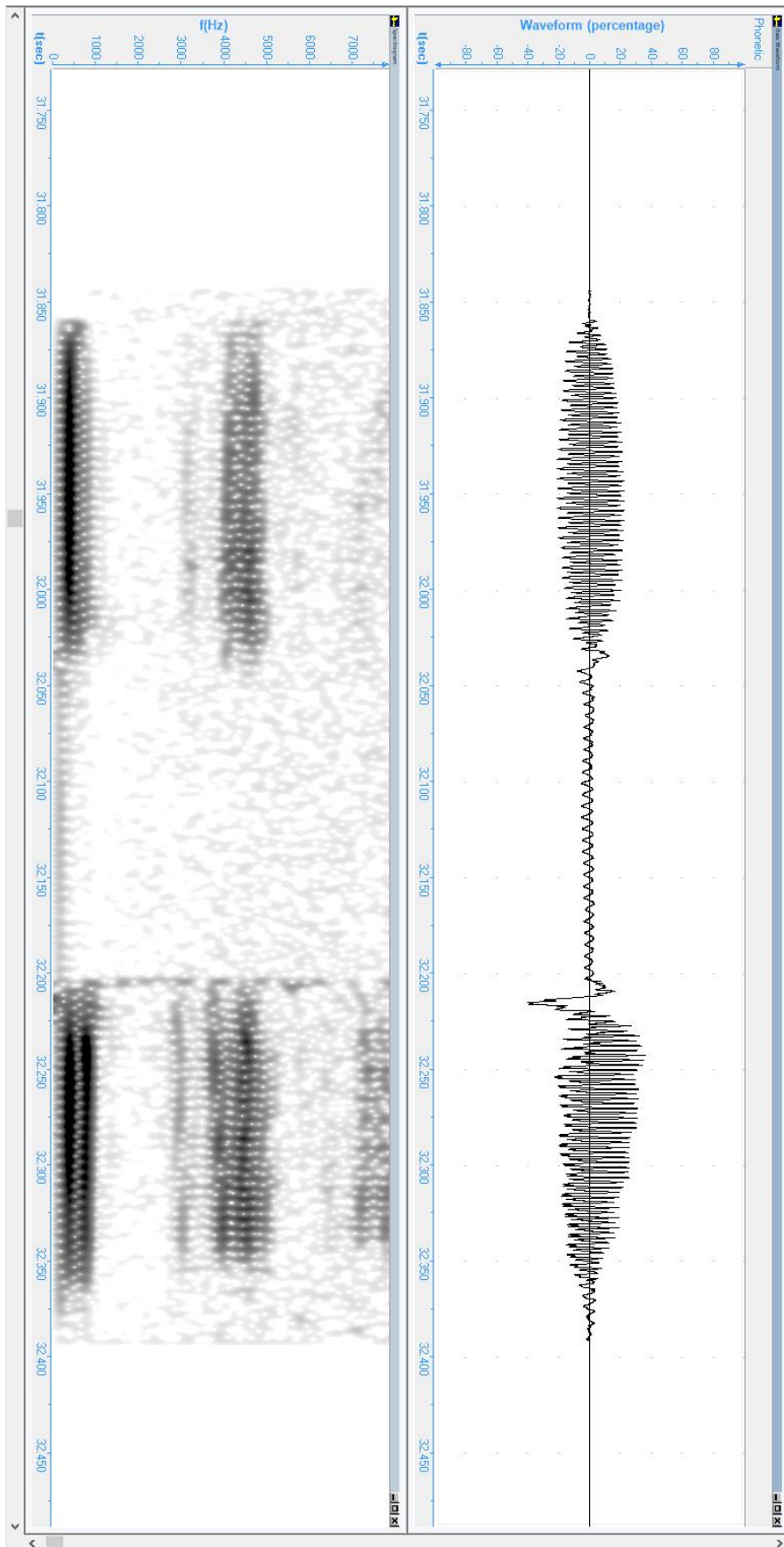
Slika A-4: Prikaz riječi VAV



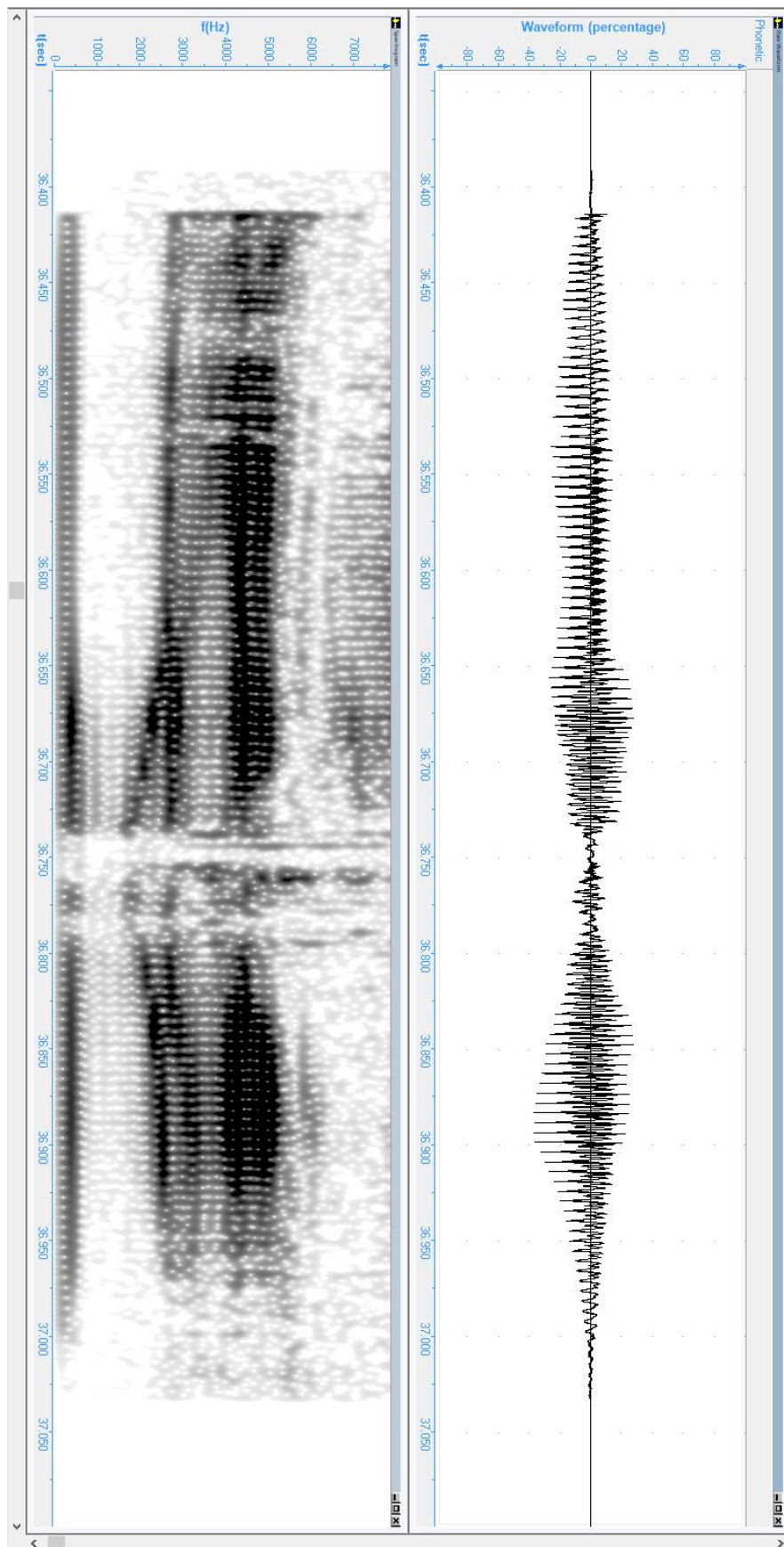
Slika A-5: Prikaz riječi IMI



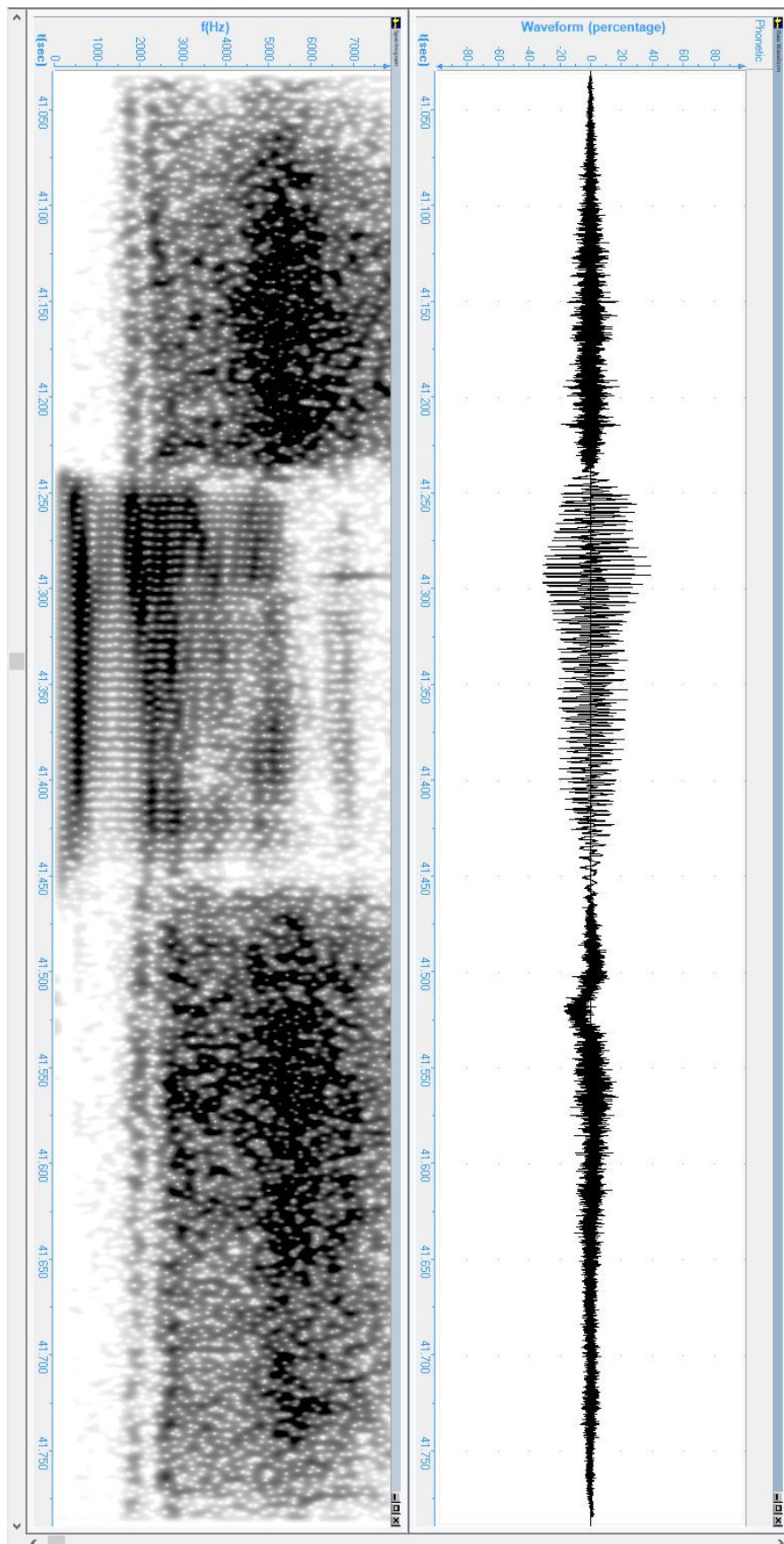
Slika A-6: Prikaz riječi ZIZ



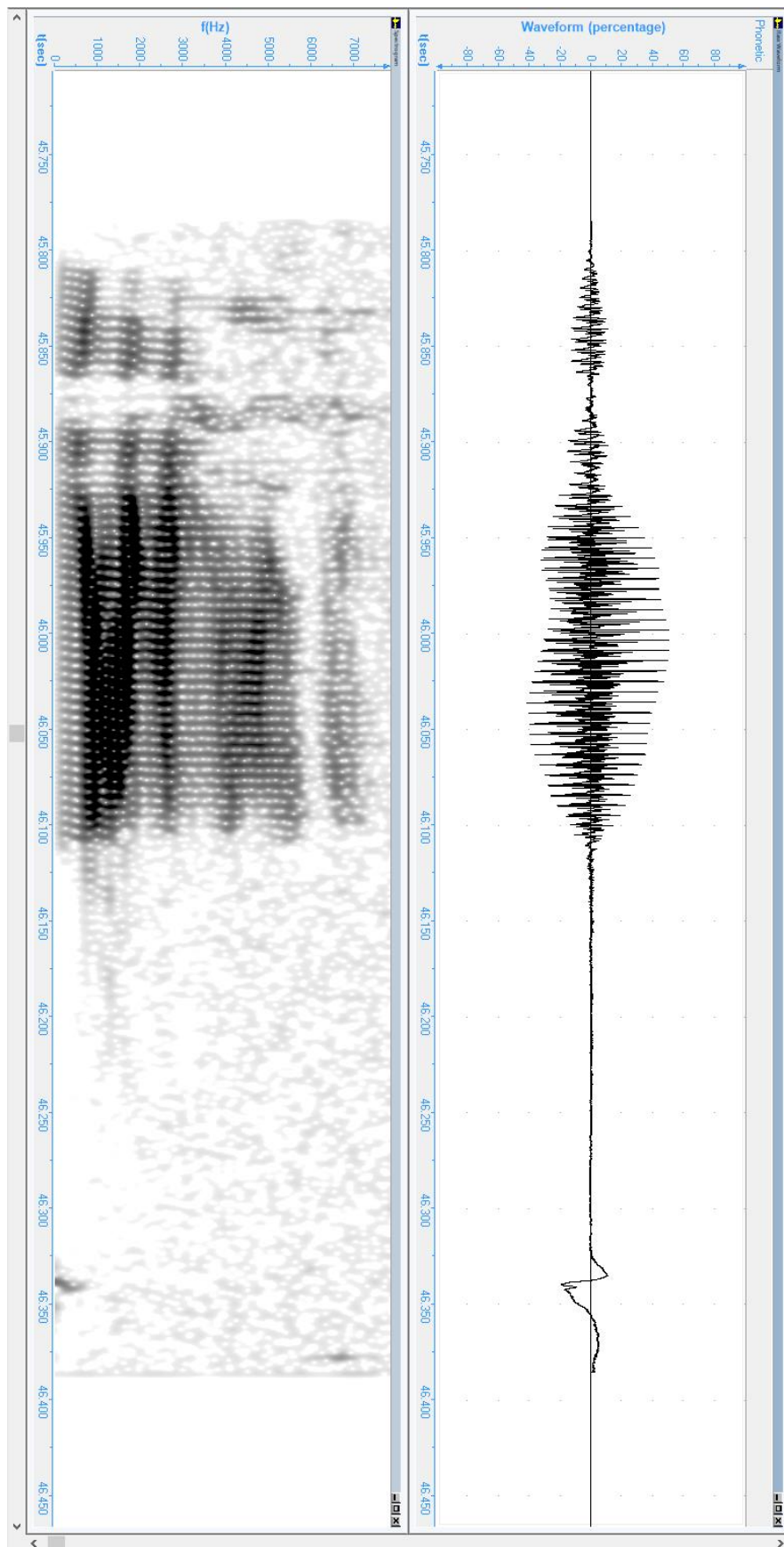
Slika A-7: Prikaz riječi UBU



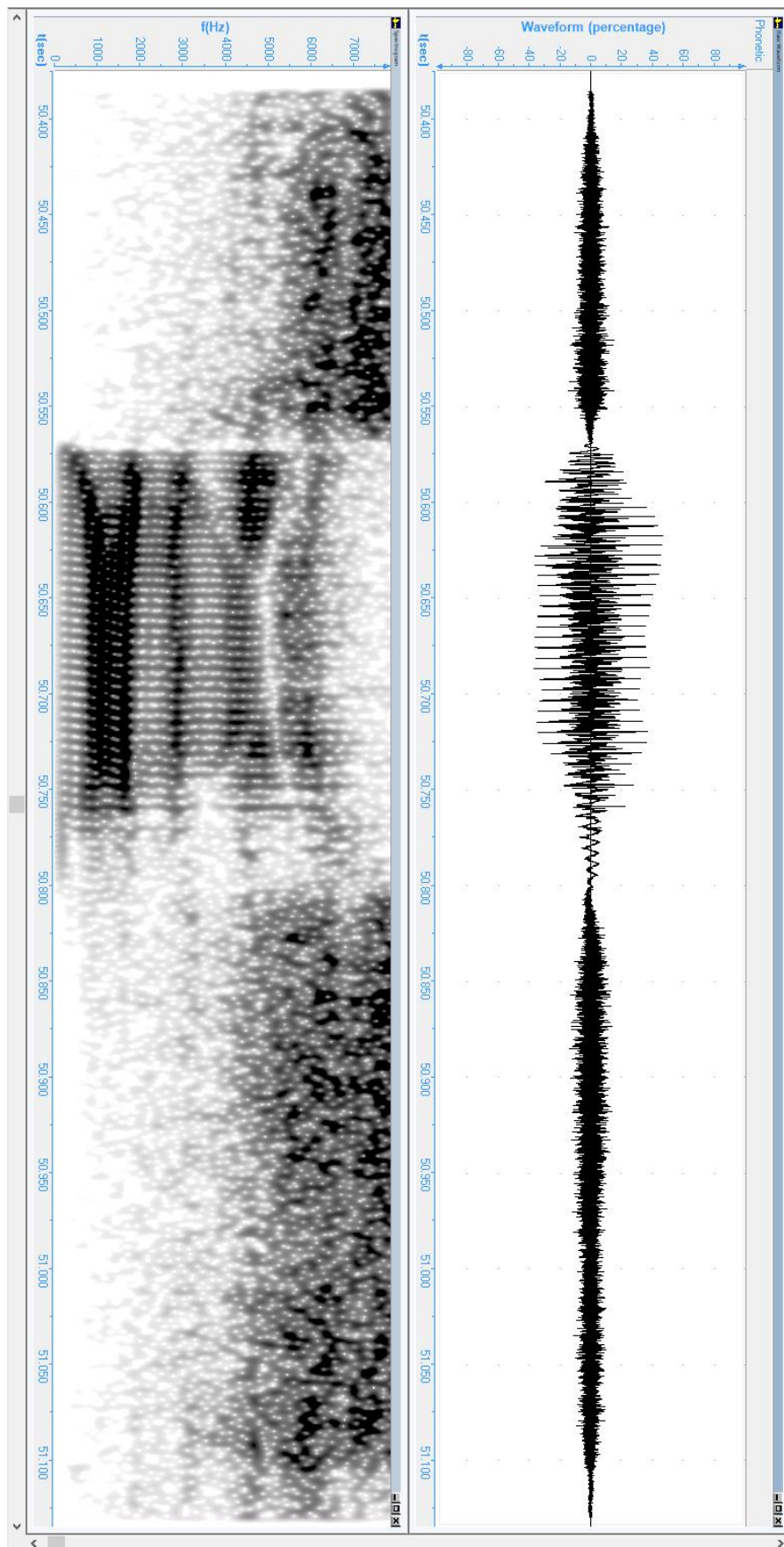
Slika A-8: Prikaz riječi IRI



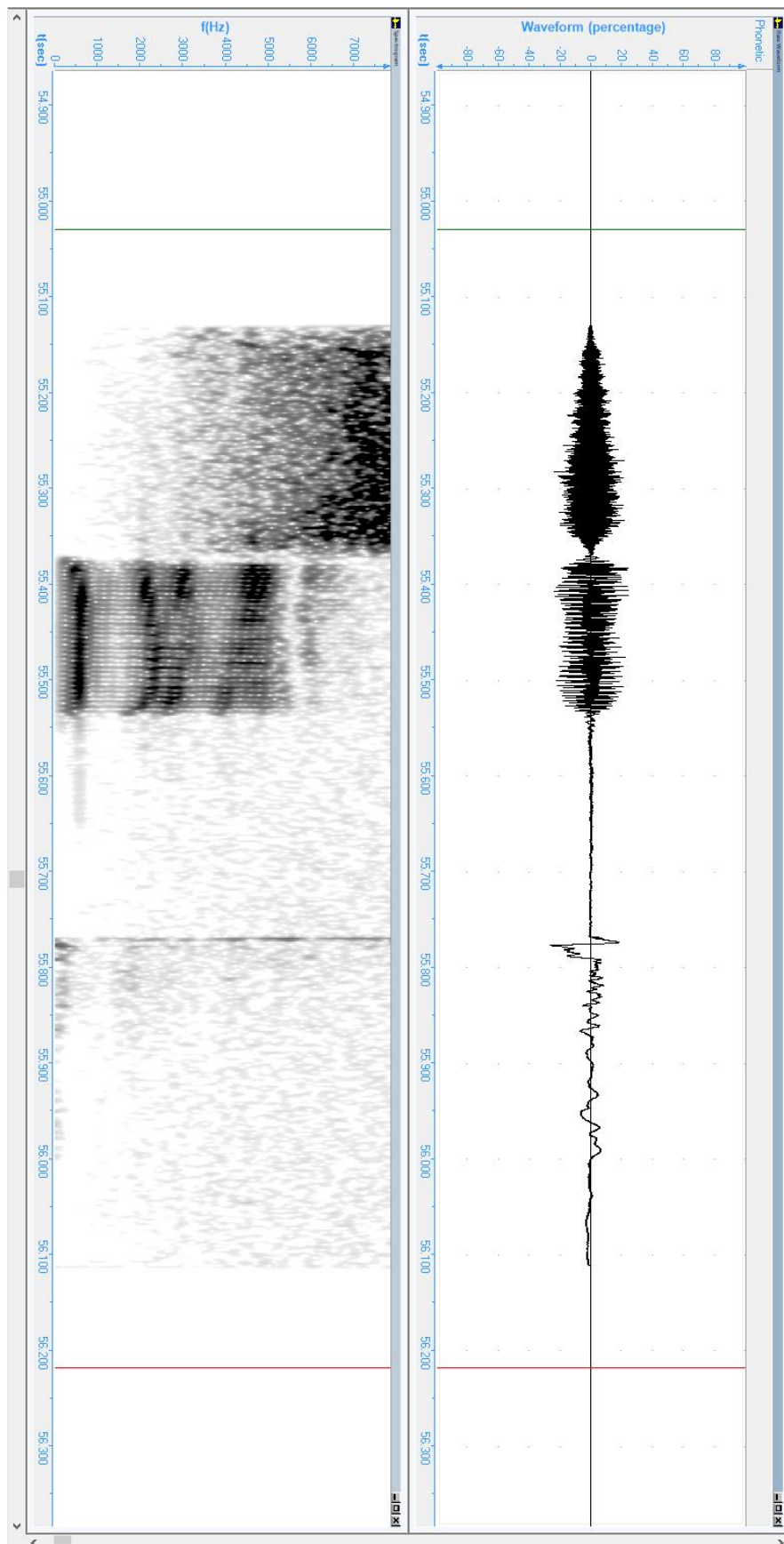
Slika A-9: Prikaz riječi ŠEŠ



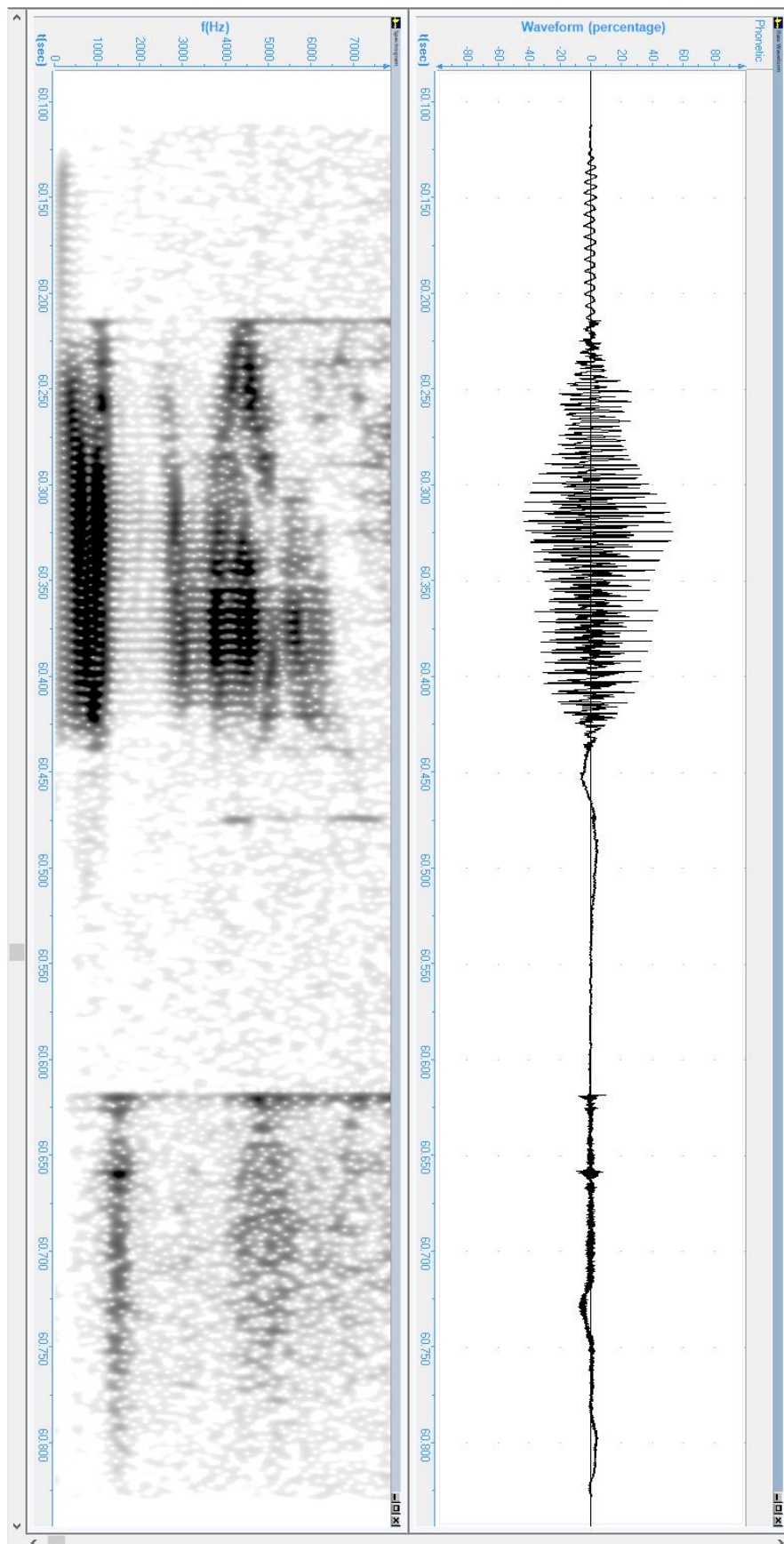
Slika A-10: Prikaz riječi RAP



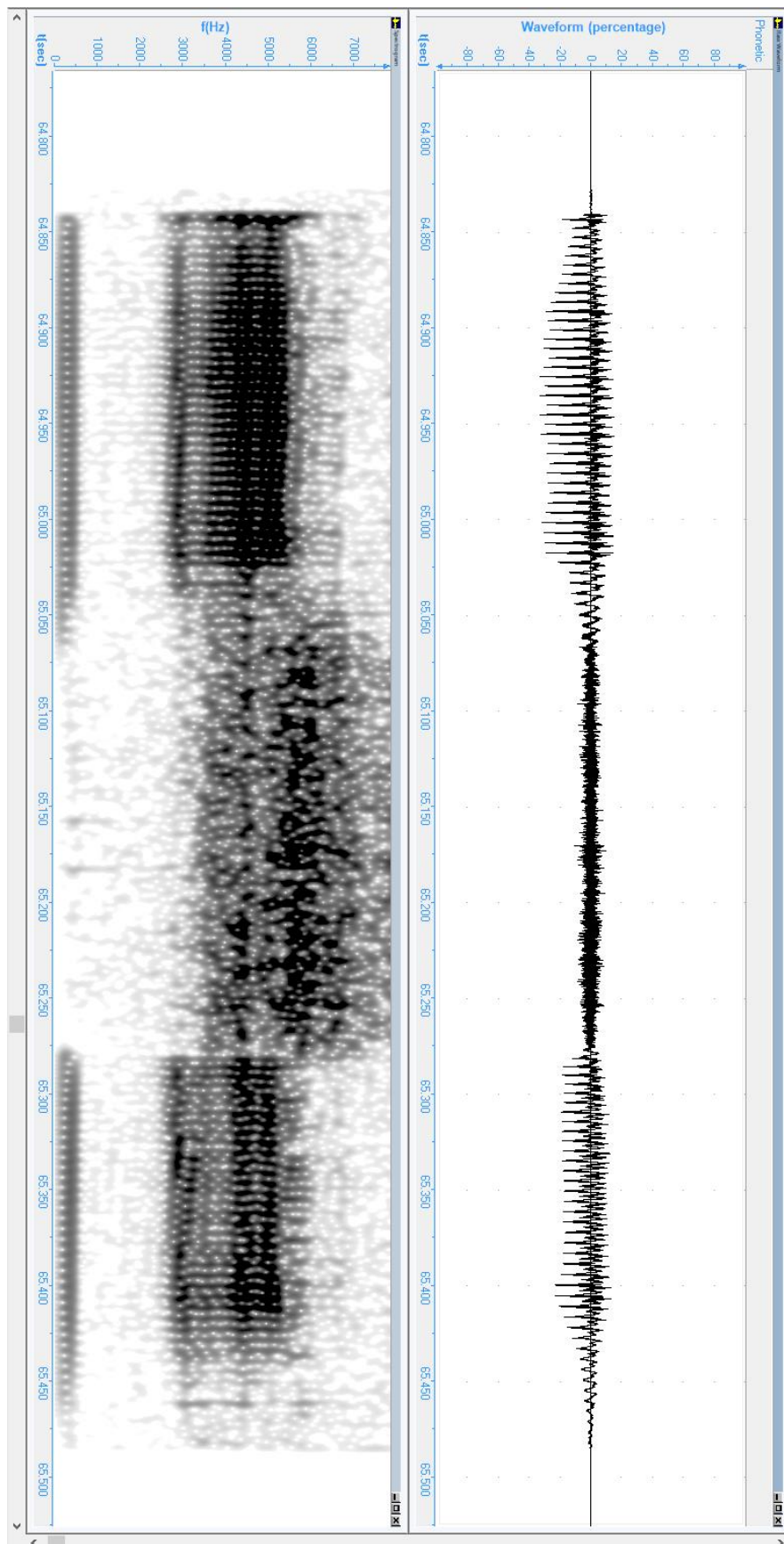
Slika A-11: Prikaz riječi SAS



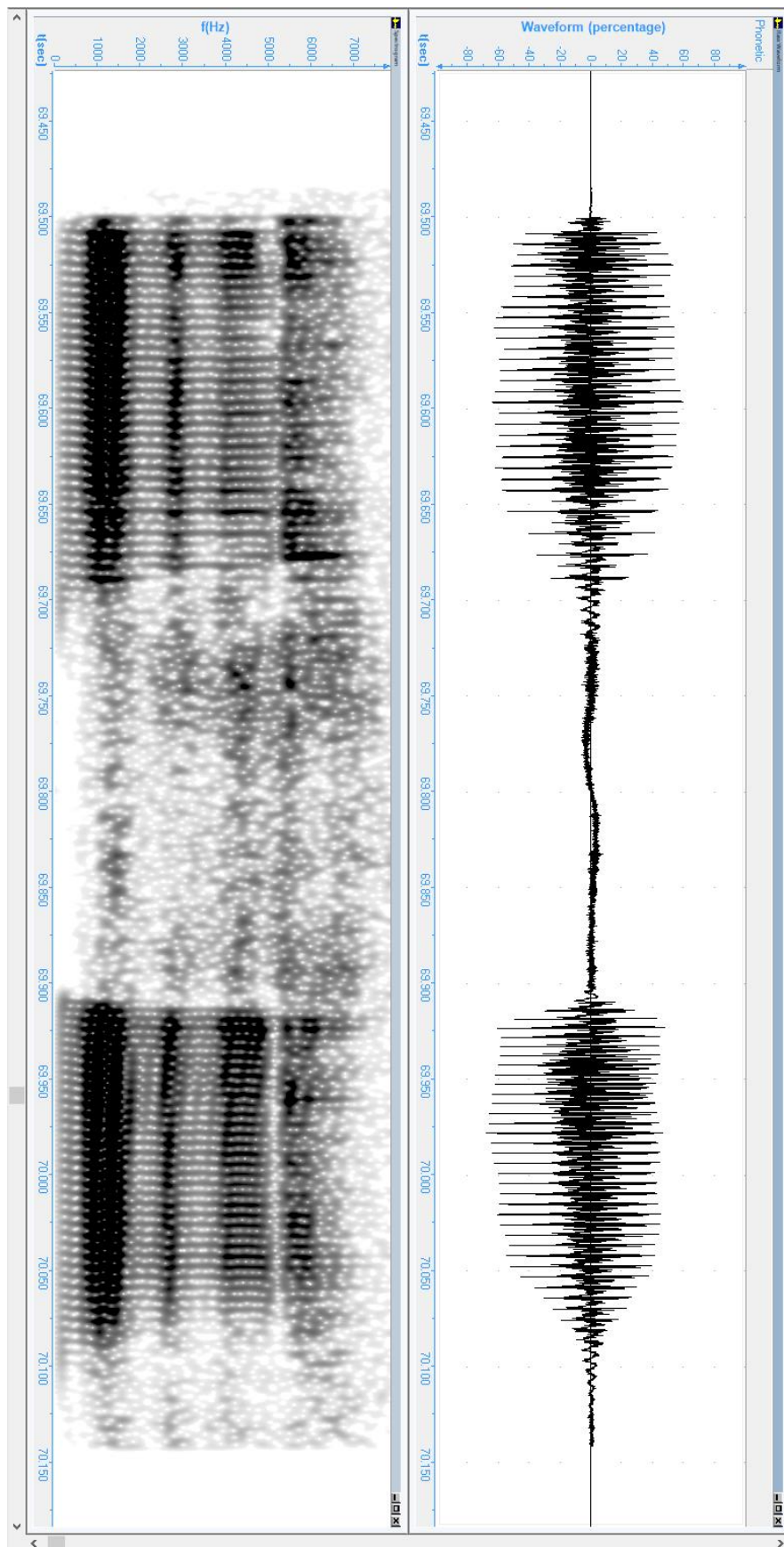
Slika A-12: Prikaz riječi SEP



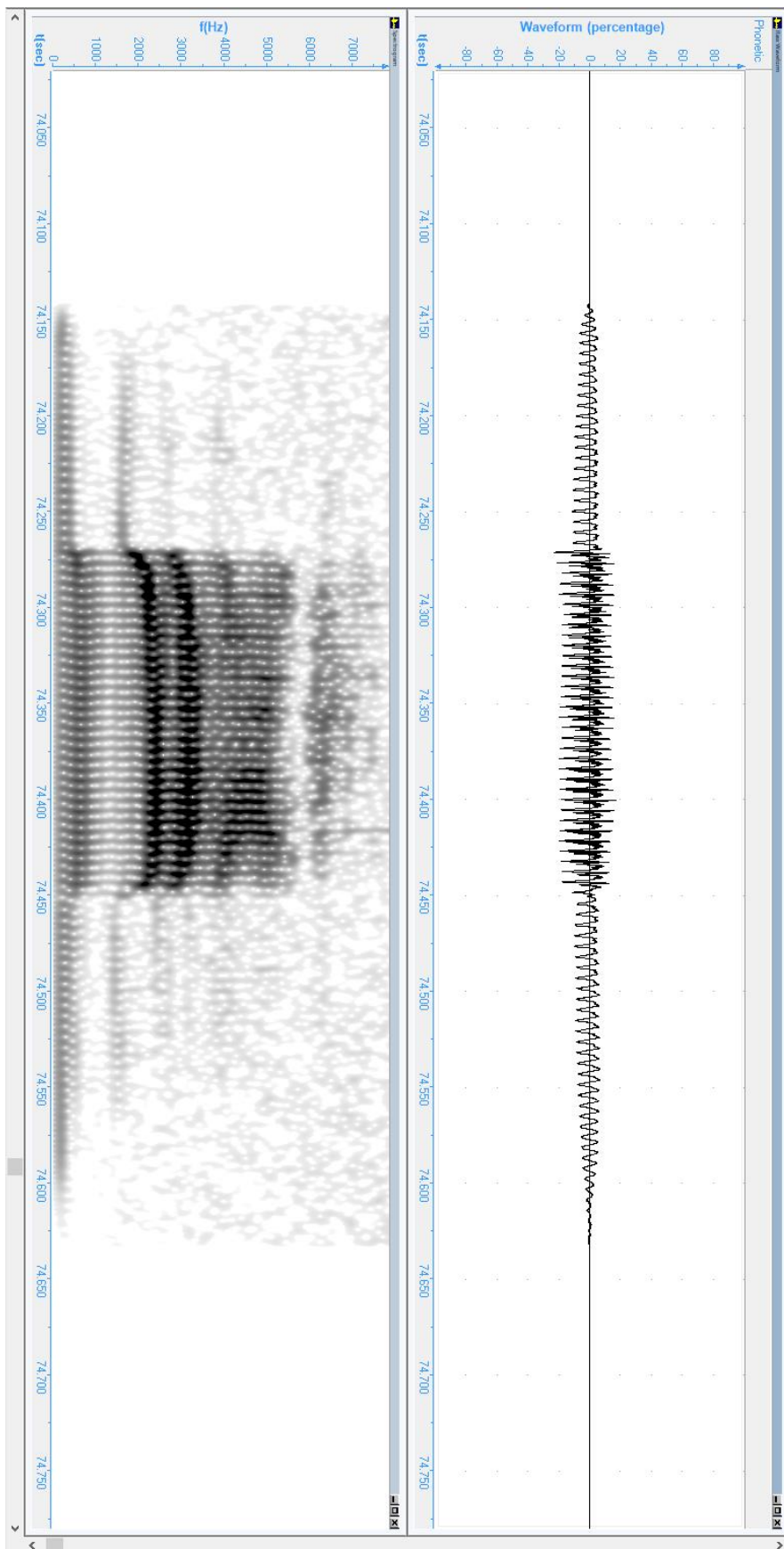
Slika A-13: Prikaz riječi GOK



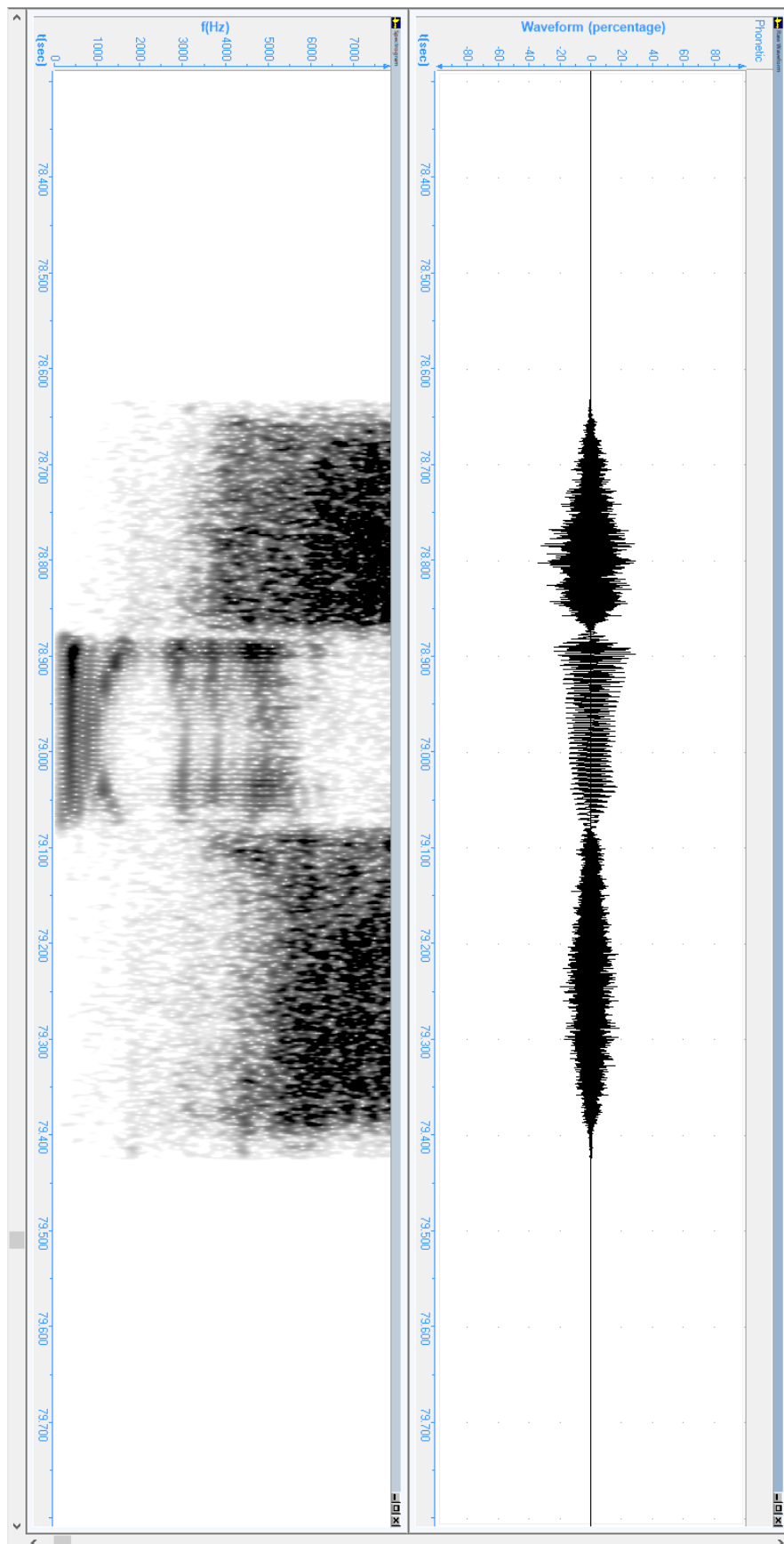
Slika A-14: Prikaz riječi IHI



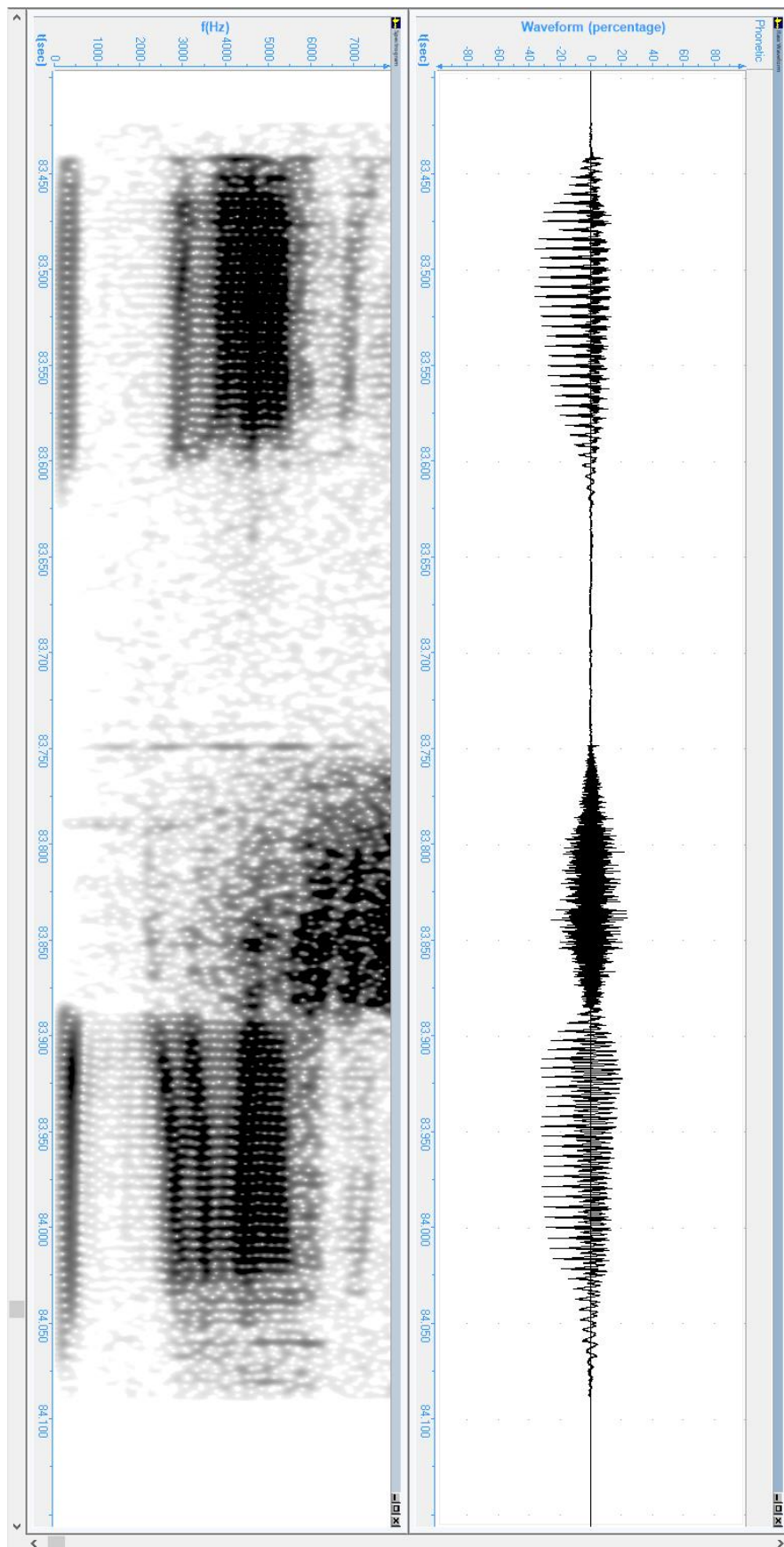
Slika A-15: Prikaz riječi AHA



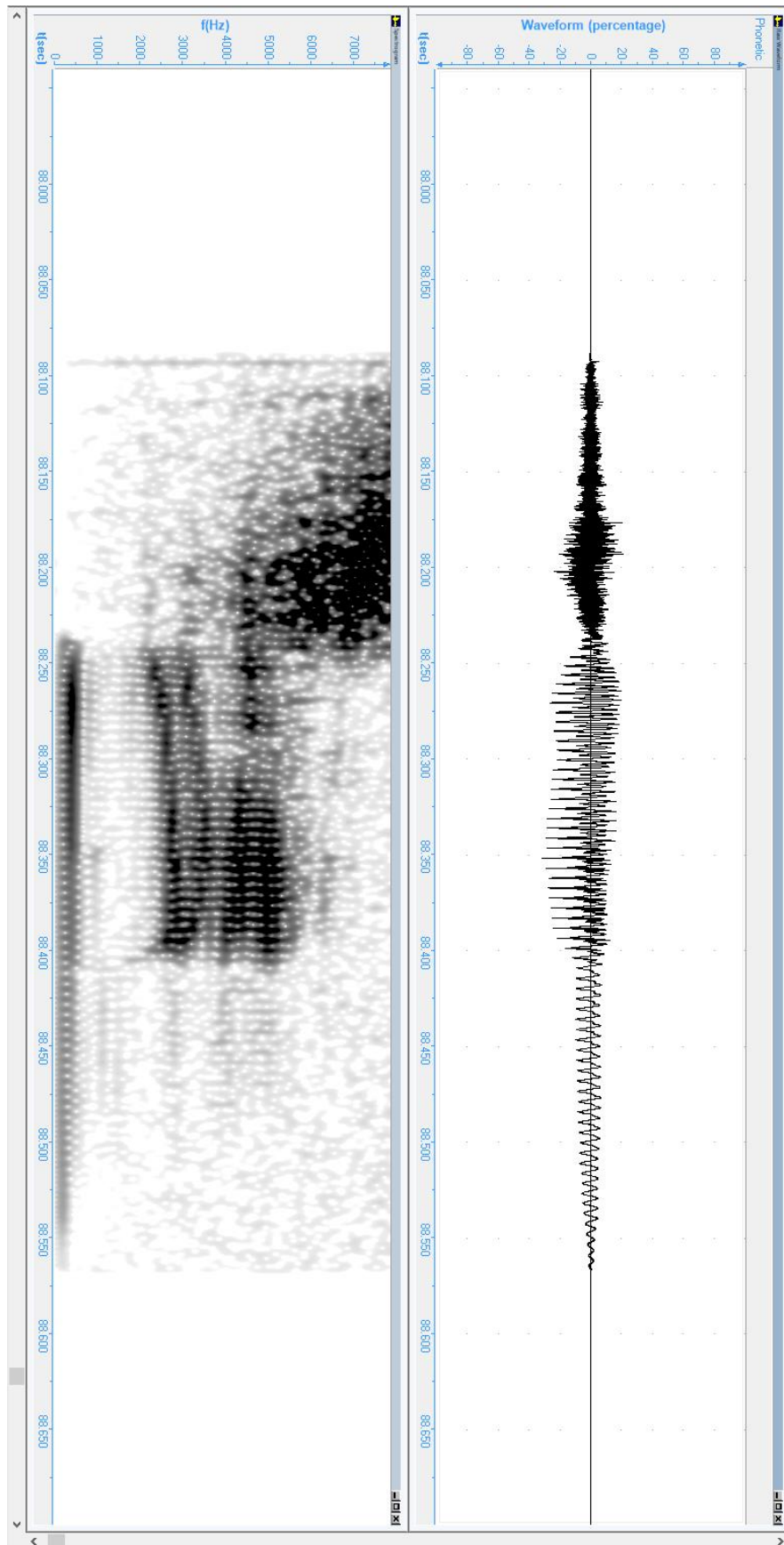
Slika A-16: Prikaz riječi MEM



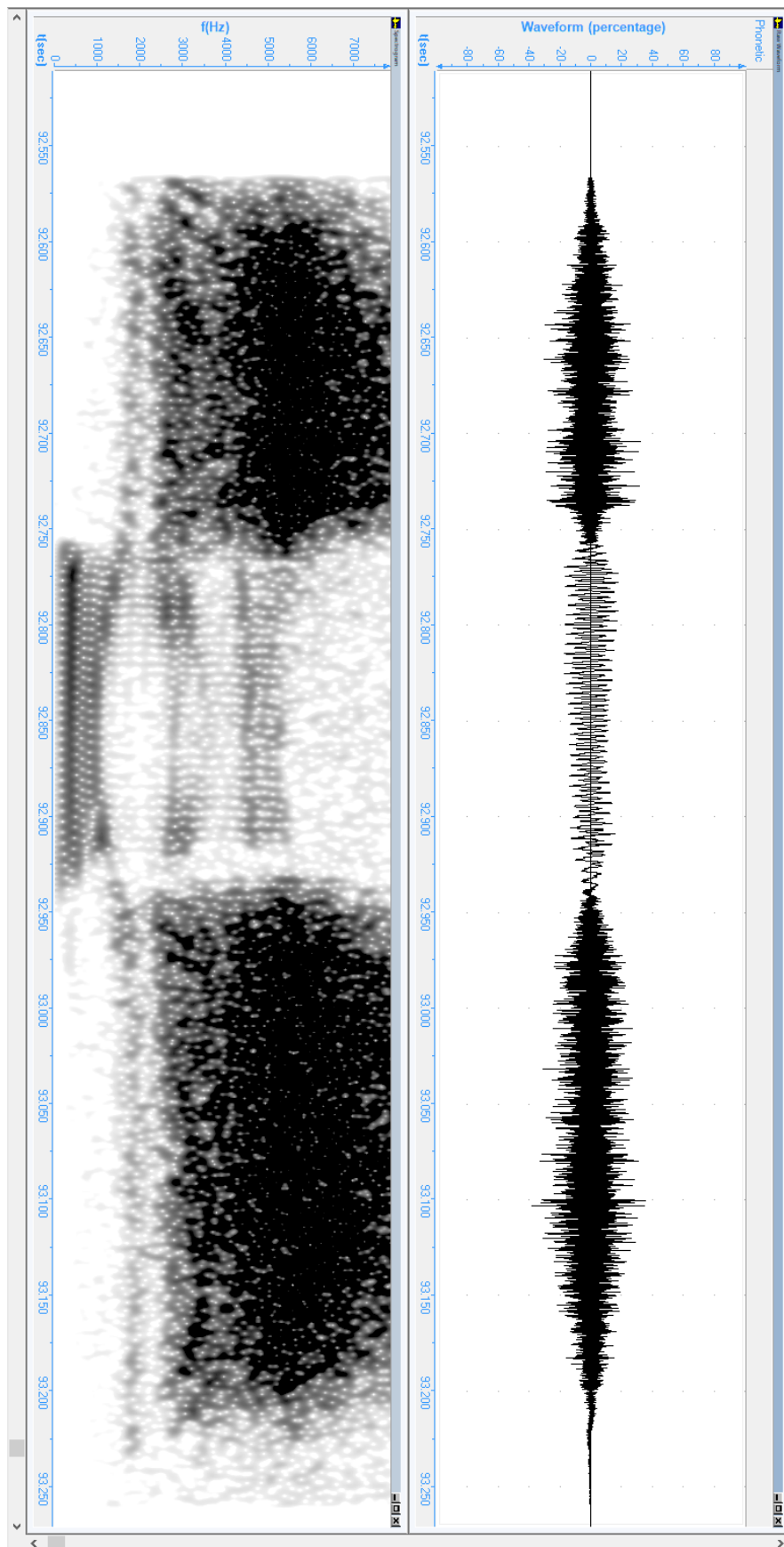
Slika A-17: Prikaz riječi SUS



Slika A-18: Prikaz riječi ICI



Slika A-19: Prikaz riječi CIM



Slika A-20: Prikaz riječi ŠUŠ

Davor Šušković rođen je u Zagrebu 1984. godine. Zvanje Sveučilišnog prvostupnika inženjera elektrotehnike i informacijske tehnologije stekao je 2010., a zvanje magistra inženjera elektrotehnike i informacijske tehnologije 2011. godine na Fakultetu elektrotehnike i računarstva.

Od kolovoza 2011. godine radi u Microtonu na poslovima ugađanja slušnih pomagala. Kao gost predavač sudjelovao je u izvođenju kolegija Zvuk i Računala na Fakultetu elektrotehnike i računarstva, a kao vanjski suradnik sudjeluje u izvođenju kolegija Audiotehnika na Filozofskom fakultetu i kolegija Rehabilitacija slušanja i govora 1 na Edukacijsko-rehabilitacijskom fakultetu.

Područja znanstvenog interesa su mu slušna akustika, metode ispitivanja gubitka sluha, sustavi slušnih pomagala te verifikacija ugođenosti slušnih pomagala.

POPIS OBJAVLJENIH RADOVA :

Šušković D., Fajt S., Olujić V.: Speech intelligibility in different types of audiograms and speech audiometry by using the simulated hearing loss on the speech material with normal hearing people, *Automatika*, Vol.62:118-126, 2021.

Prisustvo na međunarodnoj konferenciji sa izlaganjem :

Šušković D., Fajt S.: Noise-induced hearing loss, The 5th Congress of the Alps Adria Acoustics Association, Petržane, Croatia, 2012.

Šušković D., Fajt S., Matić D.: Speech intelligibility improvement for hearing impaired with hearing instruments and fm systems, The 8th Congress of the Alps Adria Acoustics Association, Zagreb, Croatia, 2018.

Prisustvo na konferenciji s međunarodnim sudjelovanjem, sa izlaganjem :

Šušković D., Fajt S, Obradović T.: Gubitak sluha uzrokovan bukom, 2. hrvatski kongres psihosomske medicine i psihoterapije „Zajedno u ratu – zajedno u zdravlju“, Karlovac, 19.-21.9.2019.

Prisustvo na međunarodnoj konferenciji kao treći autor:

Krhen M., Fajt S., Šušković D.: The Impact Analysis of the Objective Acoustic Quality Parameters on the Subjective Assessment of Sound Control Room Reverberation, The 6th Congress of the Alps Adria Acoustics Association, Graz, Austria, 2014.

Davor Šušković was born in Zagreb in 1984. He obtained the title of Bachelor of Electrical Engineering and Information Technology in 2010, and the title of Master of Science in Electrical Engineering and Information Technology in 2011 at the Faculty of Electrical Engineering and Computing.

Since August 2011, he has been working at Microton where he has been fine-tuning hearing aids. As a guest lecturer, he participated in the course Sound and Computers at the Faculty of Electrical Engineering and Computing, and as an external associate he participated in the course Audio Technology at the Faculty of Humanities and Social Sciences and the course Rehabilitation of Listening and Speech 1 at the Faculty of Education and Rehabilitation Sciences

His areas of scientific interest are auditory acoustics, hearing loss testing methods, hearing aid systems and verification of the fitting of hearing aids.