

# PROGRAM ZA FUNKCIONALNE VJEŽBE SLUŠANJA I TERAPIJU TINITUSA

---

Čulina, Mirta

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **The Polytechnic of Rijeka / Veleučilište u Rijeci**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:125:674929>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-03**



Repository / Repozitorij:

[Polytechnic of Rijeka Digital Repository - DR PolyRi](#)



**VELEUČILIŠTE U RIJECI**

Mirta Čulina

**PROGRAM ZA FUNKCIONALNE VJEŽBE SLUŠANJA I  
TERAPIJU TINITUSA**

završni rad

Rijeka, 2022.



# **VELEUČILIŠTE U RIJECI**

Preddiplomski stručni studij Telematika

## **PROGRAM ZA FUNKCIONALNE VJEŽBE SLUŠANJA I TERAPIJU TINITUSA**

završni rad

MENTOR

dr. sc. Andrea Andrijašević

STUDENT

Mirta Čulina

MBS: 2427000030/18

Rijeka, 2022.

## Sažetak

Oštećenja sluha i tinitus predstavljaju veliki izazov za pogođenog pojedinca u svakodnevnoj govornoj komunikaciji. Terapije za odrasle osobe su slabo dostupne. Predstavljen je računalni program na hrvatskom jeziku za terapiju tinitusa i vježbe slušanja namijenjen odrasloj populaciji koja ima teškoće razumijevanja govora zbog slabijeg sluha ili smetnji slušanja izazvanih pojavom tinitusa. Program sadrži nekoliko vježbi različite zahtjevnosti za testiranje slušne razabirljivosti. Omogućena je identifikacija frekvencije tinitusa te se u skladu s korisničkim odgovorima osigurava preuzimanje adekvatne terapije zvukom. Od brojnih pristupa terapije zvukom, odabran je *Tailor-made notched music* tretman (TMNMT) za smanjenje intenziteta tinitusa. Očekuje se da će program omogućiti korisnicima da objektivnije procijene svoje slušno funkcioniranje i u slučaju potrebe, potraže stručnu pomoć. Predviđa se da će biti potrebno dugotrajno istraživanje na većem broju sudionika kako bi se utvrdio optimalan broj sati i učestalost korištenja programa za najbolje rezultate.

**Ključne riječi:** oštećenje sluha, šum, tinitus, *Tailor-made notched music* tretman, TMNMT, audiorehabilitacija.

## Sadržaj

Uvod.....	1
1. Slušni sustav.....	2
1.1 Vanjsko, srednje i unutarnje uho.....	2
1.2 Slušni put i neuralne mreže.....	4
1.3 Oštećenja sluha.....	6
1.4 Tinitus.....	8
2. Rehabilitacija slušanja.....	11
2.1 Verbotonalna metoda.....	11
2.2 Terapija za tinitus.....	12
2.3 TMNMT.....	20
2.4 Računalne i mobilne aplikacije za terapiju slušanja i tinitusa.....	23
3. Program za funkcionalne vježbe slušanja i terapiju tinitusa.....	27
3.1 Visual Studio 2019.....	27
3.2 C#.....	27
3.3 Izbornik.....	28
3.4 Vježbe slušanja.....	31
3.4.1 Snimanje materijala.....	33

3.4.2 Kod.....	35
3.5 Terapija za tinitus.....	38
3.5.1 Čisti tonovi .....	38
3.5.2 Podaci o glazbenom materijalu .....	43
3.5.3 Filtriranje.....	43
3.5.4 Preuzimanje glazbenih zapisa .....	47
3.6 Bilješke.....	48
Zaključak.....	49
Popis literature .....	50
Popis slika .....	55
Popis tablica .....	56
Popis pokrata.....	57

## Uvod

Svrha ovog rada je predstavljanje programa za terapiju tinitusa i vježbe slušanja. Program je na hrvatskom jeziku i predviđen je za korištenje na osobnim računalima. Namijenjen je odraslim osobama koje imaju umjerene smetnje sluha ili pate zbog tinitusa uzrokovanog gubitkom sluha. Program može biti od koristi pojedincima u završnim fazama adaptacije na slušno pomagalo ili kohlearni implant. U prvom poglavlju pokušali smo sažeto opisati slušni put i istaknuti glavne značajke slušnog procesiranja složenih zvučnih signala. Opisana je problematika oštećenja u slušnom putu i posljedica koje izaziva šum u uhu odnosno tinitus. Teškoće slušanja i tinitus koji ometa razumljivost govora mogu se ublažiti različitim terapijskim pristupima. Rehabilitacija slušanja i terapija tinitusa za odrasle osobe je relativno zapostavljena grana audiorehabilitacije, stoga smo u drugom poglavlju nastojali dati jednostavan i koncizan pregled glavnih rehabilitacijskih pristupa oštećenjima sluha i terapije kroničnog tinitusa kod odraslih osoba. Ne postoji međunarodno ustanovljen mjerni instrument za analizu subjektivnog kroničnog tinitusa jer nije sa sigurnošću utvrđeno kako točno i gdje u slušnom putu nastaje tinitus. Postoje brojna ispitivanja na temu liječenja tinitusa, a za potrebe ovog rada pregledali smo recentna istraživanja objavljena u priznatijim časopisima te smo se odlučili na primjenu *Tailor-made notched music* tretmana (TMNMT) za terapiju tinitusa. TMNMT je detaljnije opisan u drugom poglavlju. Na kraju drugog poglavlja daje se kratak pregled određenih programa za terapiju slušanja i tinitusa. Naš program osmišljen je po uzoru na konvencionalne terapijske pristupe, ali se izbor vježbi i način prezentacije zadataka oslanja i na primjere postojećih web, mobilnih i desktop programa za unaprjeđenje slušne razabirljivosti govora. U trećem poglavlju opisali smo način razvoja programa i objašnjene su glavne funkcionalnosti.



## 1. Slušni sustav

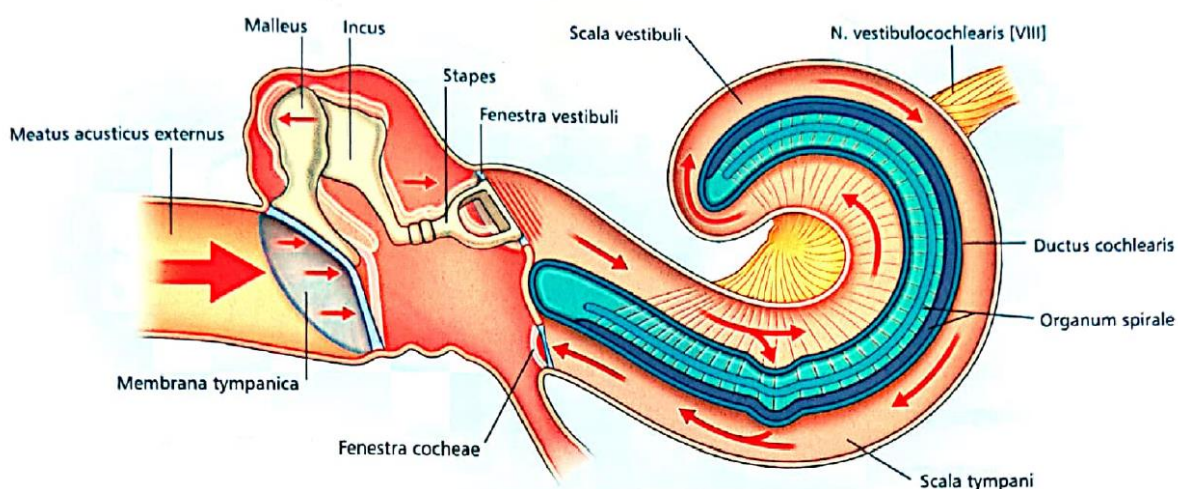
Slušni sustav ima funkciju percepcije zvuka. U literaturi se nalazi nekoliko definicija zvuka. Prema Pinel (2002, 204) zvuk je vibracija molekula zraka koje podražuju slušni sustav. Berne i Levy (1996, 155) definiraju zvuk kao mješavinu čistih tonova, a čisti ton definiraju kao sinusoidni val definiran frekvencijom, amplitudom i fazom. Pinel (2002, 205) navodi da prema jednoj teoriji sluha, slušni sustav provodi analizu sličnu Fourierovoj pa razlaže složene akustičke podražaje na njihove komponentne sinusne valove. Bumber et al. (2004, 65) definiraju zvuk kao frekvencijsko područje mehaničkoga, valovitoga, pravilna ili nepravilna gibanja zraka, tekućine ili čvrstoga tijela koje ljudsko uho može čuti. Stručna literatura pretežno je suglasna da je raspon zvuka koji su ljudi u stanju detektirati od 20 do 20 000 Hz (Pinel, 2002, 204; Berne i Levy, 1996, 155; Bumber et al., 2004, 65).

### 1.1 Vanjsko, srednje i unutarnje uho

U opisu slušnog sustava polazi se od uha koje se dijeli na vanjsko, srednje i unutarnje (Padovan et al., 1991, 4; Berne i Levy, 1996, 155 – 158). Vanjski dio uha, uška i zvukovod služe prikupljanju i prijenosu zvuka, srednje uho ima ulogu daljnjeg prijenosa zvuka, usklađivanja impedancija (zvuk koji do nas dolazi zrakom treba prilagoditi za prijenos u tekućini zbog građe pužnice) i zaštite slušnog aparata od jakih zvukova (Berne i Levy, 1996, 157).

U pužnici, koja je dio unutarnjeg uha, događa se pretvorba zvuka i prva analiza složenih akustičkih signala (Berne i Levy, 1996, 161; Mildner, 2003, 29). Pužnica je zavojiti organ čiji su prostori (*scala vestibuli*, *scala tympani* i *scala media*) ispunjeni tekućinom, perilimfa ispunjava scalu vestibuli i scalu tympani, a endolimfa ispunjava scalu mediu (Berne i Levy, 1996, 158). Pretvorba zvuka događa se u Cortijevu organu koji je smješten unutar kohleje, na bazilarnoj membrani i sastoji se od vanjskih i unutrašnjih stanica s dlačicama, pokrovne membrane i potpornih stanica. Dlačice osjetnih stanica oplakuje endolimfa, a tijelo stanica oplakuje kortilimfa koja je po

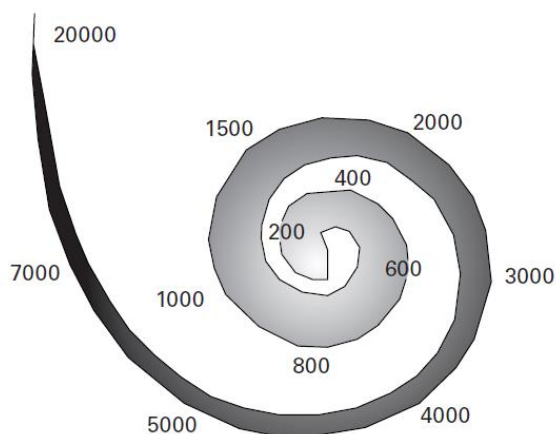
sastavu perilimfa (Padovan et al., 1991, 25). Endolimfa ima pozitivan potencijal zbog visoke koncentracije  $K^+$  i niske koncentracije  $Na^+$ , a osjetne stanice su negativno nabijene i posljedica je razlika u električkom potencijalu (Berne i Levy, 1996, 158). Pomicanje dlačica slušnih stanica pretvara mehaničku energiju u bioelektričku što podražuje slušni živac (Padovan et al., 1991, 25). Slika 1 prikazuje prijenos i pretvorbu zvuka od vanjskog do unutarnjeg uha.



*Slika 1 Mehanoelektrično provođenje zvuka*

Izvor: Sobotta (2013, 157)

Signali različitih frekvencija uzrokuju različite pomake bazilarne membrane na različitim mjestima u Cortijevu organu, pa je zamijećeno da visoke frekvencije izazivaju najveće pomake u bazi pužnice, a niske u apeksu. Na taj način događa se prva analiza frekvencijskih karakteristika zvuka te ovakvu organizaciju slušnog sustava prema teoriji mjesta nazivamo tonotopnom organizacijom (Berne i Levy, 1996, 162; Pinel, 2002, 205). Slika 2 prikazuje tonotopnu organizaciju pužnice.



Slika 2 Tonotopna organizacija pužnice.

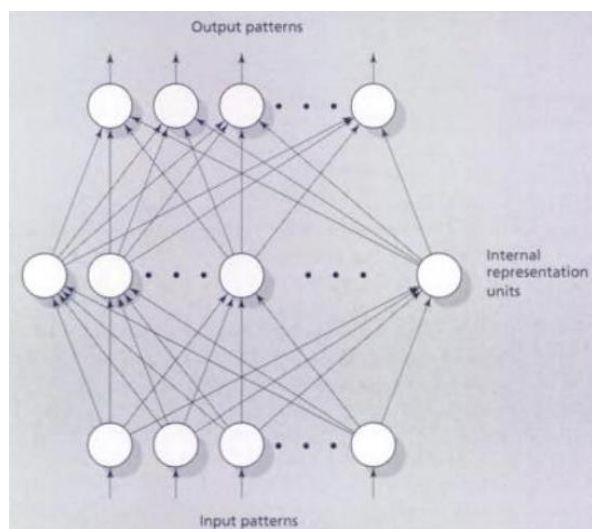
Izvor: Schnupp, Nelken i King (2010, 57)

## 1.2 Slušni put i neuralne mreže

Ne postoji jedan slušni put, već više umreženih slušnih putova na kojima se paralelno obrađuju informacije. "Kohlearne jezgre, gornje olive i jezgre lateralnog lemniska kodiraju različite aspekte zvučnog podražaja (frekvenciju, intenzitet, vremensku organizaciju) i šalju obrađene informacije preko šest paralelnih putova u središnju jezgru donjih kolikula", (Mildner, 2003, 29). Nadalje, Mildner objašnjava da se u strukturama slušnog puta desne i lijeve strane, u Probstovoj komisuri preko ukriženih projekcijskih vlakana povezanih donjim kolikulom suprotne strane, informacije integriraju i sintetiziraju, zatim se šalju u medijalno koljenasto tijelo talamusa, a odatle u primarno slušno područje gdje se identificiraju kao različiti dijelovi istog zvučnog signala. Giraud et al. (2000, prema Mildner 2003, 29) otkrili su da je ljudski slušni sustav organiziran kao hijerarhijska banka filtara s paralelnom obradom u kojoj svaka razina obrade preferira određenu frekvenciju podražaja, ali odgovara i na ostale frekvencije podražaja.

Prema Mildner (2003, 76) postoje tri sloja u modelu neuralnih mreža: ulazni (eng. *input units*), skriveni, unutarnji sloj (eng. *hidden units* ili *internal representation units*) i izlazni (eng. *output units*). Neuroni (jedinice slojeva) su međusobno povezani i svojim vezama utječu na jačinu

aktivacije određene receptijske jedinice. Prijenos je ulančan i svaki ulaz ima svoj ponder (vrijednost). Aktivacija neurona ovisi o ponderiranom zbroju svih ulaza. Autorica (2003, 76-77) objašnjava kako skrivene jedinice kontroliraju preslikavanje ulaznog sloja na izlazni: u fazi učenja neuralne mreže određenim izlazom odgovaraju na zadani ulaz prilagodbom veza među jedinicima, svaki izlaz uspoređuju sa zadanim odnosno očekivanim ciljanim izlazom (*target output*) pa se u slučaju nesklada ponderi mijenjaju. Pravilo prilagodbe naziva se algoritmom širenja unatrag (eng. *back propagation algorithm*, skraćeno *back prop*) jer informacije o greški idu od izlaznih do ulaznih prelazeći pritom i preko skrivenih jedinica. Slika 3 prikazuje model neuralnih mreža autora Eysenck i Keane (2000, 10).



Slika 3 Model neuralnih mreža

Izvor: Eysenck i Keane (2000, 10)

Načelo mjesta nastavlja se i u slušnoj kori gdje se ponavlja tonotopna organizacija pužnice: prednji dijelovi slušne kore odgovaraju na više frekvencije, a stražnji dijelovi odgovaraju na niže frekvencije zvuka (Pinel 2002, 207; Padovan et al., 1991, 28). Redundancija kao posljedica

ponavljanja tonotopne organizacije je ključna za našu sposobnost analiziranja i razumijevanja vrlo složenih zvučnih signala, ističe Mildner (2003, 29).

Paralelno s aferentnim slušnim putem imamo i eferentni slušni put koji ide u suprotnom smjeru, od slušne kore do pužnice i ima ulogu upravljanja senzoričkim ulazom na način da pojačava ili smanjuje živčane signale i potiskuje neželjene signale (Bumber et al., 2004, 72). U literaturi je poznato da kohlearna eferentna vlakna mogu nadzirati dužinu vanjskih stanica s dlačicama, ali funkcija vanjskih stanica nije posve razjašnjena budući da središnji živčani sustav pretežno koristi informacije o zvučnim signalima koje šalju unutrašnje stanice, u vezi s tim nagađa se da dužina vanjskih stanica utječe na osjetljivost i ugođenost unutrašnjih stanica te da mozak putem kohlearnih eferentnih vlakana utječe na našu osjetljivost za određene zvukove (Berne i Levy, 1996, 16). Padovan et al. (1991, 25) opisuju u audiologiji poznati sindrom *recrutement* (fra. termin, [rekritman]) koji se javlja zbog oštećenja vanjskih stanica, a manifestira se kao smanjena osjetljivost na niske intenzitete zvukova popraćena preosjetljivošću na minimalne promjene jačine zvuka uz sniženu toleranciju na jake intenzitete (snižen prag neugode). Adaptacija i rehabilitacija osoba s rekritmanom je mukotrpan i spor proces, ali poboljšanje slušanja i podizanje kvalitete života je ostvarljiv cilj. Ljudski slušni sustav je u određenoj mjeri još uvijek pun nepoznanica, ali u osnovi se radi o vrlo stabilnom i hijerarhijski strukturiranom sustavu u čijim je temeljima oslanjanje na redundanciju, ali i sposobnost učenja i prilagodbe.

### **1.3 Oštećenja sluha**

Stanje sluha ispituje se audiometrijskim pretragama, a u slučaju da se otkrije oštećenje u obliku naglušnosti ili gluhoće, utvrđuje se vrsta, mjesto, stupanj oštećenja (vidjeti tablicu 1) i svojstva slušanja (Bumber et al., 2004, 72).

Tablica 1 Međunarodna klasifikacija slušnih oštećenja

Vrsta oštećenja	Prag sluha u dB	Stupanj oštećenja
Naglušost	26-40	Lagana
Naglušost	41-55	Srednja
Naglušost	56-70	Srednje teška
Naglušost	71-90	Teška
Gluhoća	≥90	Gluhoća

Izvor: Rulenkova (2015, 24)

Iz opisa slušnog sustava jasno je da se slušanje može odstupati od stanja sluha. Gubitak sluha po frekvencijama samo je jedan od faktora koji će utjecati na slušnu razabirljivost jer čujnost počinje u uhu, ali slušanje se odvija na supkortikalnim i kortikalnim razinama obrade. Plastičnost mozga, stanje slušnog živca i neuralnih slušnih putova, sposobnost i brzina obrade složenih zvučnih signala, lokacija oštećenih slušnih stanica, dob i slušna pažnja utjecat će na sposobnost razumijevanja govora kod osoba oštećenog sluha i njihovu adaptaciju na slušno pomagalo i akustički nepovoljne uvjete.

Stanje sluha i slušanja utvrđuje se subjektivnim i objektivnim audiometrijskim pretragama. Tonalna audiometrija ispituje pragove čujnosti čistim tonovima, pritom se stupanj oštećenja utvrđuje trofrekvencijskim prosječnim pragom čujnosti na 500, 1000 i 2000 Hz, odnosno četverofrekvencijskim prosječnim pragom čujnosti gdje se pri izračunu dodaje i četvrta frekvencija od 4000 Hz. Radi jednostavnijeg prikaza stanja sluha, jačine stimulacija na tonalnom audiogramu

izražene su u dB HL (eng. *hearing level*, Schnupp, Nelken i King, 2010, 50). Pragovi izraženi u dB HL dobiveni su pojačanjem frekvencija, za koje je zdravo ljudsko uho manje osjetljivo, u onoj mjeri u kojoj je dovoljno da bi se kod urednog praga sluha na 0 dB dobila ravna linija na audiogramu. Govorna audiometrija pokazuje sposobnost slušnog razabiranja riječi s obzirom na intenzitet podražaja. Osim ovih medicinskih ispitivanja, za potrebe utvrđivanja optimalnog slušnog polja može se ispitati funkcionalnost slušanja listama izoliranih riječi biranih prema frekvencijskim karakteristikama glasova (optimalama) prema Fletcherovoj skali koja određuje udaljenost od ispitanika prema utvrđenom stupanju oštećenja sluha. Sluh se objektivno može ispitati metodom evocirane otoakustičke emisije (E-OAE) koja se temelji na činjenici da Cortijev organ i sam proizvodi zvuk – otoakustičku emisiju, pa se pomoću vrlo osjetljivog mikrofona postavljenog u zvukovod može zabilježiti odgovor zdrave pužnice na podražaj (Padovan et al., 1991, 41; Mahulja-Stamenković et al., 2005, 26). E-OAE se u Hrvatskoj koristi u rodilištima u svrhu probira na oštećenje sluha u novorođenčadi. Za objektivno ispitivanje slušnog puta koriste se evocirani slušni potencijali moždanog debla (BERA – *Brainstem Evoked Response Audiometry*).

Posljedica oštećenja sluha mogu biti otežana lokalizacija zvuka, snižen prag neugode, slabija sposobnost selektivnog slušanja, slaba razumljivost govora, slušna preosjetljivost na male promjene intenziteta i tinitus.

#### **1.4 Tinitus**

Naziv za ovaj fenomen potječe od latinske riječi *tinnitus* koja označava zvonjavu i zveckanje (“Charlton T. Lewis, Charles Short, A Latin Dictionary, Tinnītus,” n.d.). Prema Bauer (2018, 1224) tinitus je percipiranje zvuka koji nema izvor u našoj okolini. Osobe pogođene tinitusom često opisuju ovaj zvuk kao kao zvonjavu, pištanje, šuštanje, puhanje i pulsiranje... Često navode i pritisak u ušima, a zvuk lokaliziraju u oba uha ili jednostrano, a ponekad ne mogu odrediti.

Prema Bauer (2018,1224) postoji objektivni i subjektivni tinitus. Objektivni tinitus je rijedak, nastaje zbog procesa u mišićnom i krvožilnom sustavu te se može objektivno detektirati i mjeriti. Znatno češći tip tinitusa je subjektivni i ovaj tip tinitusa jedan je od najistaknutijih

simptoma gubitka sluha. Rad u buci, dugotrajna akustička trauma i gubitak sluha najčešće uzrokuju pojavu subjektivnog tinitusa (Nondahl et al. 2011, prema Bauer 2018, 1224). Subjektivni tinitus često izaziva probleme sa spavanjem što za sobom povlači dodatne psihičke i fizičke tegobe te društvene posljedice (nesanica, slabija koncentracija, razdražljivost, ugrožen socijalni kontakt, teškoće razumijevanja u govornoj komunikaciji). Tinitus se povezuje s povećanim rizikom od razvoja psihičkih oboljenja, prvenstveno depresije i anksioznog poremećaja (Shargorodsky, Curhan, i Farwell, 2010, i Nondahl et al. 2011, prema Bauer 2018, 1225). Međutim, identifikacija psihofizioloških karakteristika tinitusa (visina tona i intenzitet) ne može se koristiti za procjenu utjecaja tinitusa na psihičko funkcioniranje (Tyler i Stouffer, 1989, Meikle, Vernon i Johnson, 1984, prema Bauer 2018, 1225) jer tinitus jakog intenziteta neće nužno uzrokovati anksioznost ili depresiju. Tinitus postaje smetnja kada je osoba izrazito fokusirana na njega, a opterećenost tinitusom često se uočava i kod osoba koje subjektivno doživljavaju i opisuju svoj tinitus kao perzistirajući zvuk slabijeg intenziteta. U kliničkoj praksi se često može vidjeti da nije težina tinitusa, već pozornost koju mu osoba pridaje, ključna za razvoj psihosocijalnih teškoća. Kad se tome pridoda činjenica da nema jasnog mjerila za težinu tinitusa, ograničeni broj ispitanika, utjecaj brojnih varijabli na ponašanje tinitusa, komorbiditet (psihička oboljenja, gubitak sluha), često javljanje placebo efekta u tretmanima, nespremnost ispitanika da sudjeluju u dugotrajnim i često vremenski zahtjevnim testiranjima tretmana, teško je doći do klinički relevantnih zaključaka (Bauer 2018, 1228). U prosjeku istraživanja traju tri mjeseca, vrlo je teško naći dugotrajnija, jednogodišnja i višegodišnja ispitivanja (Plein 2016, prema Bauer 2018, 1229).

Autori Hoffman i Reed (2004), Coles (1984), Bhatt, Lin i Bhattacharyya (2016), prema Bauer (2018, 1224) daju podatke da između 10 i 25 posto osoba starijih od 18 godina pati zbog tinitusa. Javlja kao izrazita smetnja u manjem postotku populacije, otprilike od 1 - 7 posto. Raširenost perzistirajućeg tinitusa raste s dobi (najviše prisutan kod sedamdesetogodišnjaka), ali u novije vrijeme zbog pojačane izloženosti buci sve češće se javlja u mlađoj populaciji.

Radi pravilnog odabira tretmana, potrebno je dobiti što više podataka o tome što osoba čuje. Moramo pokušati doznati kakav je taj tinitus. Prilikom određivanja visine i intenziteta oslanjamo se na subjektivni iskaz osobe pogođene ovom teškoćom. Identifikaciju tinitusa otežava njegova promjenjiva priroda. Dinamiku promjena karakteristika i posljedica tinitusa nije moguće



predvidjeti kao što nije moguće predvidjeti njegov nastanak i nestanak. Prema longitudinalnoj studiji u trajanju od 5 godina 40% osoba s blažim oblikom tinitusa i 20% osoba s težim oblikom prijavilo je spontani nestanak tegobe (Nondahl et al., 2002, prema Bauer 2018, 1225).

Bauer (2018, 1225) preporučuje da se tijekom uzimanja anamnestičkih podataka ispita kakva je točno priroda tinitusa. Treba utvrditi na kojoj strani je tinitus izraženiji i ispitati jačinu, visinu, početak i tijek razvoja (iznenadni nastanak ili postupni razvoj), pojavnost tinitusa (svakodnevno, povremeno), utjecaj na san i svakodnevno funkcioniranje i slušanje. Često osobe s oštećenjem sluha odluče potražiti stručnu audiološku pomoć tek kada primijete šum u uhu. Nema točne precizne definicije akutnog i kroničnog tinitusa, općenito nema usuglašanih smjernica za mjerenje težine tinitusa. Ovisno o ostalim simptomima, pojava tinitusa može upućivati na određena stanja sluha i bolesti uha. Bauer (2018, 1225-1226) smatra da treba obavezno provesti audiološka ispitivanja kod pacijenata s tinitusom kako bi se utvrdila prisutnost oštećenja sluha. Rezultati primarnih audioloških ispitivanja mogu onda indicirati daljnje kliničke postupke. Važno je naglasiti da određivanje kvalitativnih osobina tinitusa (jačina, ton) nije dio objektivne medicinske dijagnostike te se ti podaci o tinitusu ne koriste za određivanje liječenja.

## 2. Rehabilitacija slušanja

Rehabilitacijski postupci dijele se na oralne i neoralne metode (Padovan et al., 1991, 52-53). Znakovni jezik i daktilologija (pomoćni slovni gestovni jezik) pripadaju neoralnim metodama. Od oralnih metoda u Hrvatskoj i svijetu, najpoznatija je verbotonalna metoda Petra Guberine (VT metoda).

### 2.1 Verbotonalna metoda

Verbotonalnim postupcima utvrđuje se optimalno slušno polje osobe s oštećenjem sluha. Prema Guberini (1965, 2-3) principi verbotonalne audiometrije temelje se na otkriću da svaki glas i svaka riječ imaju svoju oktavu optimalne razumljivosti, kada glasovi i riječi prolaze kroz oktave koje im nisu optimalne, deformiraju se za uho i prilikom interpretacije na višim razinama glas se zamjenjuje za neki drugi npr. glas /i/ čut će se kao /u/ na optimali glasa /u/. Nadalje, greške raspoznavanja uzrokovane su različitim tipovima slušnog polja, forma emitiranja govornih glasova je mnogo važnija od širine pojasa te slušanje nije kontinuirani fenomen, nego diskontinuirani, kako normalnog tako i oštećenog uha. Prema Guberini (2010, 46) u rehabilitaciji se nastoji postići transfer odnosno najbolja percepcija u posebnom frekvencijskom području, te s obzirom na slušne ostatke, frekvencijsko područje transfera može biti nisko, visoko ili diskontinuirano. Otkriće diskontinuiteta je posebno značajan doprinos VT metode. Istraživanja diskontinuiteta (Tičinović i Šonjić 1971, prema Guberina 2010, 95) daju nekoliko primjera utvrđenih diskontinuiteta slušanja u pojedinaca: "prenosi li se govor frekvencijskim područjem od 2560 Hz do 12800 Hz postiže se 70% razabirljivosti tek na 80 dB, prenosi li se govor frekvencijskim područjem od 40 Hz do 640 Hz postiže se 50% razabirljivosti na 70 dB, prenosi li se govor istodobno ovim dvama frekvencijskim područjima postiže se 100% razabirljivosti već na 60 dB". Daju primjer i niskog diskontinuiteta: "prenosi li se govor područjem od 40 Hz do 512 Hz postiže se 20% razabirljivosti na 70 dB, prenosi li se govor frekvencijskim područjem od 400 Hz do 512 Hz postiže se 20% razabirljivosti na 70 dB, prenosi li se govor područjem od 128 do 160 Hz, nema razabirljivosti, prenosi li se govor istodobno područjima od 128 do 160 Hz i od 400 Hz do 512 Hz postiže se

30% razabirljivosti na 50 dB". Dakle, audiorehabilitacija vođena VT principima nastoji postići transfer slušanja pomoću VT opreme (SUVAG aparati) pri čemu reedukator (fonetičar) govorom stimulira slušanje osobe koja slabije čuje.

Odrasle osobe kojima je zbog gluhoće ugrađena umjetna pužnica i osobe koje se otežano adaptiraju na slušno pomagalo moraju proći osnovnu rehabilitaciju koja se obično sastoji od sljedećih etapa:

1. detekcija i distinkcija zvukova u zatvorenom i otvorenom prostoru
2. diskriminacija zvukova: dugo-kratko, glasno-tiho, visoko-nisko
3. identifikacija riječi u zatvorenim setovima poznate kategorije (brojevi, dani u tjednu, fraze, domaće životinje, članovi obitelji, voće...)
4. identifikacija jasno i jednostavno strukturiranih rečenica na poznatu temu
5. identifikacija riječi iz otvorenih setova sastavljenih po visinskim karakteristikama glasova
6. identifikacija rečenica iz otvorenih setova sastavljenih po visinskim karakteristikama glasova
7. razumijevanje čitanog kraćeg teksta o poznatoj temi (kulinarski recepti, vremenska prognoza, sportske vijesti...)
8. razumijevanje čitanog teksta o nepoznatoj temi.

S osmom fazom u pravilu se zaključuje rehabilitacijski postupak, a neki pacijenti samostalno kasnije uspiju razviti dobro razumijevanje govora preko telefona što se smatra izuzetno dobro razvijenim slušanjem.

## **2.2 Terapija za tinitus**

Zasad ne postoji lijek jer nisu utvrđeni mehanizmi nastanka i održavanja tinitusa. Terapija zvukom jedna je od najstarijih metoda suzbijanja negativnog utjecaja tinitusa na svakodnevno funkcioniranje. Polazi se od stava da se osjetljivost na tinitus može smanjiti ako se šum u uhu

prekrije nekim jačim zvukom. Godinama se isprobavaju različiti tipovi zvukova za maskiranje: bijeli šum, glazba, amplifikacija pomoću slušnih pomagala, slušna pomagala s dodatnim mogućnostima maskiranja pomoću glazbe ili generiranjem bijelog šuma. Intenzitet terapije zvukom također nije strogo određen, neki koriste maskiranje u jačini tinitusa, a neki koriste maskirajuće zvukove malo slabijeg intenziteta.

Bauer (2017, prema Bauer 2018, 1227) navodi da dobre rezultate u tretmanu tinitusa daju slušna pomagala koja sadrže generatore zvuka, ako je osoba pritom uključena i u psihološko savjetovanje. Na području istraživanja tinitusa još uvijek nema jasnih smjernica koji bi oblik slušnog treninga tj. terapije zvukom bio učinkovit u skretanju pacijentove pozornosti s tinitusa, ali čini se da je upravo fokusiranost na smetnju ono što otežava ukupno pacijentovo slušno stanje i funkcioniranje te je potrebno još ispitivanja kako bi se razvili tretmani koji će dati jasne rezultate (Bauer 2018, 1228). Uz rad od Bauer, u tablici 2 su navedeni još neki relevantniji radovi koji su se bavili tretmanima za tinitus.

*Tablica 2 Pregled radova koji se bave tretmanima za tinitus*

<b>Godina</b>	<b>Autori</b>	<b>Naslov</b>	<b>Predmet</b>	<b>Zaključci</b>
2010	Okamoto et al.	Listening to tailor-made notched music reduces tinnitus loudness and tinnitus-related auditory cortex activity	Tailor-made notched music treatment (TMNMT) – individualno prilagođena glazba u kojoj su pojasno nepropusnim filtrom "izrezane" frekvencije u	Zabilježeno značajno smanjenje percipirane jačine tinitusa, rezultati potvrđeni i objektivnim pretragama. Autori ističu da takvi rezultati nisu zabilježeni u grupi u kojoj se koristila

			rasponu 1 oktave oko centralne frekvencije tinitusa.	placebo glazba i u kontrolnoj skupini.
2012	Hobson, Chisholm i El Refaie,	Sound therapy (masking) in the management of tinnitus in adults.	Pregled studija koje ispituju utjecaj na tinitus uporabom generatora zvuka i sl. maskirajućih uređaja samostalno ili uz korištenje slušnih pomagala i kohlearnih implanata.	Terapija zvukom nema dokazani terapijski efekt na tinitus, iako je vjerojatno bolja od placeba i nije utvrđena škodljivost. Slušna pomagala pomažu unaprijediti slušanje i kvalitetu života, pa je teško odvojiti povoljni utjecaj slušnih pomagala na slušanje i kvalitetu života od djelovanja na tinitus.
2013	Baguley, McFerran i Hall.	Tinnitus	Osvrt na postojeće terapije za tinitus.	Preporučuje se korištenje slušnih pomagala i edukacija pacijenta zajedno sa savjetovanjem prema principima kognitivno-bihevioralne terapije (CBT). Premda su efekti ovih tretmana slabiji, ipak

				unaprjeđuju kvalitetu života i smanjuju svijest i osjetljivost na tinitus.
2013	Vanneste et al.	Does enriched acoustic environment in humans abolish chronic tinnitus clinically and electrophysiologically? A double blind placebo controlled study.	Terapija glazbom - maskiranje. Jedna skupina ispitanika je slušala individualno prilagođenu glazbu u kojoj su do normalnog praga čujnosti pojačane one frekvencije za koje je oslabljena čujnost. Druga skupina je slušala individualno prilagođenu glazbu gdje su "izgubljene" frekvencije pojačane preko urednog praga	U prvoj skupini nije zabilježen nikakav utjecaj tretmana na tinitus, a u drugoj skupini je čak zabilježeno pogoršanje tinitusa nakon tretmana.
2014	Tunkel et al.	Clinical Practice Guideline: Tinnitus	Smjernice za kliničku praksu u tretmanu tinitusa.	Pacijentima s dugotrajnim i zamornim tinitusom i utvrđenim gubitkom sluha treba preporučiti slušno pomagalo, a

				pacijentima kod kojih je problem isključivo dugotrajan i zamoran tinitus treba preporučiti kognitivno bihevioralnu terapiju.
2016	Stein et al.	Clinical trial on tonal tinnitus with tailor-made notched music training	TMNMT – pojasno nepropusni filter širine pola oktave, uz isticanje frekvencija koje graniče s rubnim frekvencijama pojasno nepropusnog filtra.	Utjecaj tretmana nakon 3 mjeseca nije imao statistički značajan ni klinički relevantan utjecaj na tinitus. Pretpostavlja se da je tretman prekratko trajao.
2017	Mahboubi et al.	Customized versus noncustomized sound therapy for treatment of tinnitus: a randomized crossover clinical trial.	Pitch-matched (PM) harmonic sound therapy: pitch-matched filtriranje oko centralne frekvencije tinitusa. Dobiveni zvuk se kombinirao sa klasičnom glazbom u trajanju od 6 sati.	Zabilježeno smanjenje jačine tinitusa u odnosu na terapiju maskiranjem bijelim šumom.

2018	Bauer	Tinnitus	Osvrt na postojeće terapije za tinitus.	U slučaju da se pacijent žali na tinitus, preporučuju se dodatne audiološke pretrage. Ako je utvrđeno odstupanje od normalnog prosječnog praga čujnosti, propisuje se slušno pomagalo, a pacijenta treba dodatno informirati o opciji odabira slušnog pomagala s generatorom zvuka u kombinaciji s psihološkim savjetovanjem kako bi se minimizirao negativan utjecaj tinitusa na kvalitetu života.
2020	Nagaraj i Prabhu	Internet/smartphone-based applications for the treatment of tinnitus: a systematic review.	Pregled izvornih znanstvenih istraživanja u kojima su sudionici odrasle osobe s tinitusom, a	Internet/mobilne aplikacije pomažu, ali ne može se utvrditi u kojoj mjeri utječu na percepciju tinitusa. Nema standardiziranih



			<p>korištena je bilo koja terapija u obliku web aplikacije (isključili aplikacije s kognitivno-bihevioralnom terapijom). Samo je pet radova ispunjavalo kriterije i ušlo u analizu.</p>	<p>mjera za utvrđivanje težine i učinkovitosti tretmana za tinitus.</p>
2020	Sherlock i Eisenman	Current Device-based Clinical Treatments for Tinnitus	Osvrt na postojeće terapije za tinitus.	<p>Što se tiče generatora zvuka za maskiranje tinitusa, proizvođači preporučuju svakodnevno 8-satno slušanje iako nema dokaza o utjecaju takvih uređaja s obzirom na vrijeme korištenja. Za TMNMT ističu kao nedostatak obvezu pacijenata da redovito i svakodnevno slušaju glazbenu terapiju. TMNMT često nije moguće uklopiti u</p>

				svakodnevnu rutinu jer nekima oduzima previše vremena.
2020	Wang, Tang, Wu, Zhou i Sun	The state of the art of sound therapy for subjective tinnitus in adults	Pregled radova koji su se bavili utjecajem terapije zvukom na odrasle osobe s kroničnim tinitusom. Uvjet je bio da ispitanici nisu isprobavali druge vrste terapija za tinitus.	TMNMT ima efekt u usporedbi s placeboom, ali je nepoznato koliko je minimalno trajanje tretmana da bi se uočili značajni pomaci. Što se tiče pitch-matched terapije zvukom (metoda maskiranja s pojačanom frekvencijom tinitusa u izabranom terapijskom zvučnom materijalu) rezultati variraju pa se smatra nepouzdanom metodom za tretman.

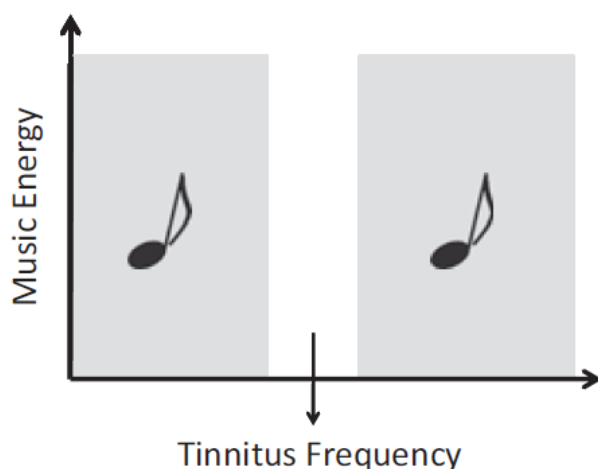
Zanimljivo je da suprotstavljene metode (*Pitch-matched sound therapy* i *Tailor-made notched music treatment*) imaju zabilježene povoljne učinke na tinitus. Ono što se u ovim radovima često zanemaruje jest činjenica da se brojne od ovih terapija zvukom naplaćuju, a generatori zvuka, pogotovo ako su ugrađeni u slušna pomagala, mnogim su pacijentima financijski nedostupni. Otežavajući je faktor i nedostatak standardiziranih mjerila za utvrđivanje težine tinitusa i često vrlo ograničena mogućnost istraživača da okupe optimalan broj ispitanika i zadrže ih do kraja

dugotrajnih i vremenski zahtjevnih ispitivanja. Nije sigurno hoćemo li ikada doći do rješenja za tinitus jer se radi o slušnom fenomenu koji može imati i neke druge uzroke osim gubitka sluha, često se mijenja, a način na koji utječe na nečije ponašanje i funkcioniranje je individualan.

### **2.3 TMNMT**

Gotovo sve današnje terapije usmjerene su na minimiziranje negativnih posljedica tinitusa na svakodnevnu komunikaciju i psihičko funkcioniranje.

Okamoto et al. (2010, 1207) osmislili su TMNMT čiji je cilj smanjenje percipirane glasnoće tinitusa. Autori polaze od neurofizioloških istraživanja tehnikom magnetne encefalografije – MEG koja su pokazala da je mogući uzrok tinitusa pogrešna reorganizacija struktura u slušnoj kori zaduženih za obradu frekvencije na kojoj je percipiran tinitus jer je jačina odstupanja bila u skladu s percipiranom jačinom tinitusa, a istim ispitivanjima utvrđeno je da bihevioralna terapija može imati reverzibilan učinak na patološku reorganizaciju. Autori su razvili metodu za ublažavanje tinitusa prema kojoj je potrebno svakodnevno slušati individualno prilagođenu, filtriranu glazbu. Prvo je bilo potrebno utvrditi ciljane, centralne frekvencije tinitusa, a zatim se pacijentova omiljena glazba filtrirala tako što je uklonjen određeni frekvencijski pojas širine jedne oktave. Slušanje omiljene glazbe potiče lučenje dopamina koji ima važnu ulogu u kortikalnoj reorganizaciji, zato je bilo potrebno za svakog pacijenta kreirati posebnu TMNMT glazbenu listu. Slika 4 prikazuje način filtriranja.



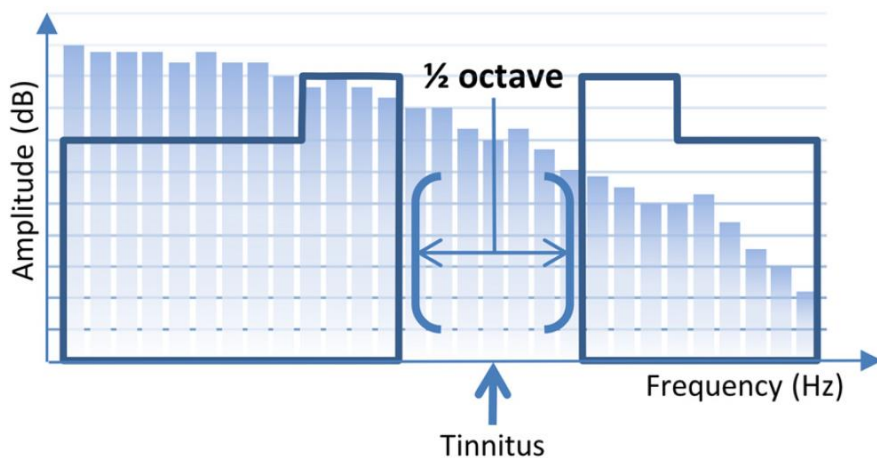
Slika 4 TMNMT filtriranje.

Izvor: Okamoto, Stracke, Stoll i Pantev (2010, 1208).

Sudjelovalo je 39 pacijenata, ispitanici su birani prema karakteristikama tinitusa koji ih smeta. Tražio se kronični, tonalni, jednostrani tinitus centralne frekvencije manje od ili jednake 8 kHz. Isključeni su pacijenti s teškim slušnim oštećenjem, s neurološkim i psihijatrijskim komorbiditetima. Pacijenti su nasumično smješteni u dvije grupe: 1) skupina dobila TMNMT 2) skupina dobila pseudo-TMNMT. Ispitanici su u obje skupine dobili slušalice za slušanje i slušali su glazbu obostrano. Pacijenti koji nisu imali vremena sudjelovati bili su kontrolna skupina. Tijekom istraživanja koje je trajalo godinu dana isključeni su oni koji su odustali, pacijenti koji nisu redovito vodili dnevnik i pacijenti kod kojih je utvrđeno da se frekvencija mijenja ili ako imaju tinitus na frekvenciji višoj od 8 kHz (zbog tehničkih razloga, ograničenje audiometrijskih aparata je do 8 kHz). Od početnih 39, 23 pacijenta završila su istraživanje. Utvrđivanje frekvencije tinitusa ponavljano je u više navrata (minimalno četiri puta u dva različita dana) puštanjem čistih tonova ipsilateralno, a prosjek identificiranih frekvencija uzet je kao referentna vrijednost tinitusa. Tijekom istraživanja redovito se pratilo je li promijenjena frekvencija tinitusa. Intenzitet je bilježen jedanput tjedno pomoću vizualne analogne skale (eng. *Visual Analog Scale – VAS*) s rasponom od 0 (nema tinitusa) do 100 (ekstremno jak tinitus). Kontrola rezultata provedena je ispitivanjima evociranih potencijala ASSR (eng. *Auditory Steady State Response*) i MEG pretraga. Kao što je prikazano u tablici 2 istraživanje je utvrdilo uspjeh TMNMT-a. Nažalost, nije poznato koliko

minuta dnevno su ispitanici morali slušati TMNM, niti su autori dali podatke na temelju dnevnika slušanja o prosječnom dnevnom vremenu slušanja.

Temeljem uspjeha ove metode, ponovljen je eksperiment lateralne inhibicije slušnog sistema koristeći TMNMT uz neke izmjene (Stein et al., 2016, 3). Koristili su filter širine pola oktave i pojačali su zvučnu energiju rubnih frekvencija koje graniče s područjem filtra. Za bilježenje rezultata koristili su upitnike THQ (*Tinnitus Handicap Questionnaire*), TQ (*Tinnitus Questionnaire*), VAS i THI (*Tinnitus Handicap Inventory*). Studija je uključila 100 ispitanika u dobi od 18 do 70 godina, s tonalnim, kroničnim (trajanje 3 mj. ili više) tinitusom dominantne frekvencije između 1 i 12 kHz, uz izostanak slušnog gubitka većeg od 70 dB HL u rasponu pola oktave od frekvencije tinitusa. Isključeni su pacijenti koji nisu mogli do kraja završiti tretman (12 tjedana) te oni pacijenti koji su se žalili na pojačanje intenziteta tinitusa ili pojavu dodatnih šumova u uhu. Pacijenti su dobili uređaj za slušanje glazbe za korištenje kod kuće na kojem je bila pohranjena njihova omiljena filtrirana glazba. Kontrolna skupina je dobila placebo TMNMT. Slika 5 prikazuje način filtriranja uz pojačavanje rubnih frekvencija.



Slika 5 Filtriranje za TMNMT u istraživanju Stein et al.

Izvor: Stein et al. (2016, 5).

Ispitanici su dobili uputu da svaki dan po dva sata provedu slušajući glazbu obrađenu pojasno nepropusnim filtrom. Tinitus je pomoću upitnika procijenjen prije prvog tretmana, nakon zadnjeg i mjesec dana poslije zadnjeg tretmana. Mjerenja obavljena po završetku zadnjeg tretmana nisu pokazivala razliku u percipiranoj jačini tinitusa u odnosu na razdoblje prije prvog tretmana, isto tako nije bilo razlike između TMNMT skupine i ispitanika koji su dobili placebo tretman. Mjerenja obavljena mjesec dana od zadnjeg tretmana pokazala su promjene jačine tinitusa u korist TMNMT grupe, ali poboljšanje nije statistički značajno. Budući da je istraživanje koje su proveli Okamoto i suradnici trajalo godinu dana prije nego što je utvrđena superiornost TMNMT u odnosu na placebo, autori zaključuju da je mogući uzrok neuspjeha prekratak vremenski period proveden u tretmanu (Stein et al., 2016, 14).

## 2.4 Računalne i mobilne aplikacije za terapiju slušanja i tinitusa

Od uređaja koji su se dosad koristili u rehabilitaciji osoba s oštećenjem sluha imamo razne vrste slušnih pomagala od kojih su najraširenija digitalna zaušna slušna pomagala i razne vrste implanata od kojih su najpoznatiji kohlearni implantati. U novije vrijeme razvija se sve više mobilnih, web i računalnih aplikacija za rješavanje teškoća slušanja. U tablici su prikazani zaključci istraživanja na temu učinkovitosti takvih programa.

*Tablica 3 Kratak pregled ispitivanja aplikacija za slušanje i tinitus*

<b>Godina</b>	<b>Autori</b>	<b>Naslov</b>	<b>Predmet (S = gubitak sluha; T = tinitus)</b>	<b>Zaključak</b>
2017	Mahboubi et al.	Customized versus noncustomized sound therapy	<b>T)</b> Glazba kombinirana s pitch-match šumovima za MP3 uređaje stvorena pomoću za to posebno	Grupa koja je slušala individualiziranu glazbu pokazala na subjektivnim

		for treatment of tinnitus: a randomized crossover clinical trial.	dizajniranog softvera. MP3 uređaj i posebne slušalice koje ne zatvaraju zvukovod dane ispitanicima koji su slušali materijal 2 sata svakodnevno, 3 mj.	procjenama tinitusa statistički značajno poboljšanje.
2020	Nagaraj i Prabhu	Internet/ smartphone based applications for the treatment of tinnitus: a systematic review	<b>T)</b> Aplikacije za tinitus koje koriste neke od poznatijih metoda kao što su CBT, Tinnitus Retraining Therapy (TRT), Harmonic sound therapy, TMNMT...	Konvencionalna terapija i terapija temeljena na web/mobilnim aplikacijama imaju slične efekte.
2020	Sato et al.	In-home auditory training using audiovisual stimuli on a tablet computer: Feasibility and preliminary results	<b>S)</b> Audiovizualna računalna stimulacija zaiskusne korisnike slušnih pomagala ili kohlearnih implanata.	Utvrđeno je poboljšanje slušne razabirljivosti za riječi, ali samo je 9 od 11 ispitanika dovršilo ispitivanje koje je trajalo 3 mj. Čini se da bi program mogao biti dobar dodatak konvencionalnim rehabilitacijskim postupcima.

2020	Stropahl, Besser i Launer	Auditory Training Supports Auditory Rehabilitation: A State-of-the-Art Review	<b>S)</b> Slušni programi razabirljivosti fonema, riječi ili rečenica, glazbeni treninzi, treninzi slušne pažnje. Ispitanici su odrasle osobe sa srednjom ili teškom nagluhošću, sa ili bez slušnih pomagala. Programi za tinitus nisu bili uključeni u pregled studije.	Programi za slušni trening su korisni i pomažu osobito u kombinaciji sa slušnim pomagalima ili kao potpora konvencionalnoj audiorehabilitaciji. Nejasno je koliko dugo treba trajati i ponavljati treninge.
2021	Abouzari et al.	Adapting Personal Therapies Using a Mobile Application for Tinnitus Rehabilitation: A Preliminary Study	<b>T)</b> Mobilna aplikacija za tinitus koja koristi terapiju zvukom i CBT	Premda je ispitivanje imalo neka ograničenja poput malog broja ispitanika i nedostatnih podataka o ispitanicima, rezultati su pokazali da aplikacija ima dobar potencijal. U planu su istraživanja na većem broju ispitanika.
2021	Reis et al.	Effectiveness of Computer-Based Auditory Training for	<b>S)</b> Računalni program za trening selektivnog slušanja za osobe s kohlearnim implantom, provjera	Korisnost programa nije utvrđena.



		Adult Cochlear Implant Users: A Randomized Crossover Study	učinkovitosti vizualnog treninga i audio treniga.	
2021	Tuz, Isikhan i Yücel	Developing the computer-based auditory training program for adults with hearing impairment	<b>S)</b> Razvili računalni slušni trening s 9 modula za razvoj različitih aspekata slušanja i slušnog procesiranja.	Program je testiralo 40 ispitanika urednog sluha, premda je program pozitivno ocijenjen u svim aspektima od zadovoljstva sadržajem do jednostavnosti korisničkog sučelja potrebno je provesti ispitivanje na populaciji s teškoćama slušanja.

Većina radova na ovu temu ima ograničenja kao što su male skupine ispitanika, nepostojanje naknadnih kasnijih provjera, kratak period ispitivanja i sl., ali pretežno se nalazi slaganje da računalne i web tehnologije usmjerene na poboljšanje različitih aspekata slušanja zasad pokazuju dobar potencijal te se zaključuje da bi trebalo nastaviti razvijati ih i istraživati.

### **3. Program za funkcionalne vježbe slušanja i terapiju tinitusa**

Temeljem prethodnih saznanja, nastojali smo kreirati program koji bi mogao biti nadopuna konvencionalnim rehabilitacijskim postupcima ili eventualno zamjena za klasični tretman. Program je izrađen za desktop računala u Visual Studio 2019 IDE i napisan u programskom jeziku C#. Prilikom izrade određenih funkcionalnosti bilo je neophodno osloniti se na druga tehnološka i programska rješenja kao što su pohrana u oblaku i obrada zvuka u programu za spektralnu analizu Praat.

#### **3.1 Visual Studio 2019**

Za razvoj programa korišten je Visual Studio 2019. Visual Studio dolazi s instalacijskim programom Visual Studio Installer koji olakšava ažuriranje programa i instaliranje razvojnih paketa. Grafičko korisničko sučelje (Graphical User Interface – GUI) izrađeno je pomoću WinFormsa. Visual Studio je odabran pod pretpostavkom da će korisnicima biti najjednostavnije koristiti desktop aplikaciju. Microsoftovo razvojno okruženje činilo se kao optimalan izbor s obzirom da su operativni sustavi Windows najrašireniji u Hrvatskoj (“Koji su najpoznatiji operativni sustavi za PC i pametne telefone?,” 2019) i zato što se radi o potpunom i besplatnom razvojnom rješenju.

#### **3.2 C#**

C# je jedan od najraširenijih programskih jezika koji je u 2022. godini po popularnosti rangiran na petom mjestu (Ramel, 01/10/2022, 2022). C# se temelji na C jeziku, prva verzija C# 1.0 pojavila se 2001 godine, a razvio ga je Microsoftov tim predvođen Andersom Hejlsbergom (Chan, 2015, 9) Radi se o objektno orijentiranom jeziku koji je od početka ugrađen u NET sustav za razvojna rješenja. Objektno orijentirani jezici temelje se na zasebnim strukturama koje sadrže neke povezane podatke i metode, a nazivamo ih objektima (Abrus i Pavlešić, 2004, 112; Miles, 2019, 11). U objektno orijentiranim jezicima, programski problemi su razlomljeni na objekte

(Chan, 2015, 11) C# je sličan programskim jezicima Java i C++ i često se u literaturi opisuje kao programski jezik koji je jednostavan za učenje (Abrus i Pavlešić, 2004, 27; Chan, 2015, 11). Prema Abrus i Pavlešić (2004, 112) osnovni pojmovi u objektno orijentiranim jezicima su: 1. objekti i klase, 2. objektni modeli, 3. enkapsulacija, 4. polimorfizam i 5. nasljeđivanje.

Autori ističu klase kao ključni pojam za razumijevanje i korištenje objektno orijentiranih jezika jer su one predlošci odnosno nacrti za objekte. Klasama definiramo objekte i njihove funkcionalnosti. Autori napominju da klase zauzimaju memoriju tek kada se stvori njihov objekt odnosno nova instanca klase. Nadalje, autori objašnjavaju kako prema objektnim modelima objekte dijelimo na jednostavne i složene. Razlika između jednostavnih i složenih objekata je količina varijabli, događaja ili metoda koju neki objekt sadrži. Abrus i Pavlešić (2004, 114) definiraju enkapsulaciju tj. ućahurivanje kao koncept koji odvaja objektno sućelje (pogled na klasu izvana) i implementaciju (naćin ugrađivanja mehanizama za ostvarenje odrećene funkcionalnosti) te iz toga slijedi da u C# ništa ne ovisi o unutarnjem urećenju objekta te da implementacija objekta ne utjeće na njegovo sućelje. Ćetvrtu karakteristiku – polimorfizam, definiraju kao mogućnost klasa i njihovih objekata da na različite načine implementiraju isti prikaz za *vanjski svijet* pa će se bez obzira na različite načine implementiranja nekog sućelja pozivati iste metode i koristit će se ista svojstva objekata. Sućelje ima utjecaj na funkcionalnost klasa, ali ne utjeće na mehanizme za ostvarenje funkcionalnosti koje bi neka klasa trebala imati. Konaćno, autori objašnjavaju da nasljećivanjem možemo ugraditi funkcionalnost tj. varijable i metode postojećee klase u novu klasu. Pritom, nasljeećene funkcionalnosti nas ne sprjećavaju da se novoj klasi daju nove klase ili izmjenjuju postojećee.

### 3.3 Izbornik

Pokretanjem programa otvara se poćetni prozor s glavnim izbornikom koji je smješten u panel glavniIzbornik (slika 6). Glavni izbornik sadrži dva podizbornika – podizbornikTinitus i podizbornikVjezbe u zasebnim panelima.



Slika 6 Elementi izbornika

Vidljivošću podizbornika upravlja metoda `VidljivostPodizbornika`. Po pokretanju programa podizbornici su skriveni jer se u metodi inicijalizira njihova vidljivost kao *false* Bool vrijednost. Radi postizanja dinamičnosti i urednijeg izgleda, vidljivošću gumba u navedenim podizbornicima dodatno se upravlja metodama `SakrijPodizbornik` i `PrikaziPodizbornik`. U slučaju da korisnik želi otvoriti vježbe ili terapiju za tinitus klikom na gumbe glavnog izbornika, pokreće se metoda `PrikaziPodizbornik` kojoj je parametar Panel podizbornik. Otvara se padajući podizbornik te su vidljive kontrole podizbornika. Klikom na neku od kontrola podizbornika kojima se otvaraju potprozori (eng. *child windows*), metoda `SakrijPodizbornik` opet skriva kontrole podizbornika.

```
private void VidljivostPodizbornika()
{
    podizbornikVjezbe.Visible = false; // podizbornici su nevidljivi
    podizbornikTinitus.Visible = false;
}
```

```

private void SakrijPodizbornik()
{
    if (podizbornikVjezbe.Visible == true)
        podizbornikVjezbe.Visible = false; //za skrivanje podizbornika u slučaju
da su vidljivi
    if (podizbornikTinitus.Visible == true)
        podizbornikTinitus.Visible = false;
}

private void PrikaziPodizbornik(Panel podizbornik)
{
    if (podizbornik.Visible == false)
    {
        SakrijPodizbornik(); //da se sakrije drugi podizbornik ako je otvoren, na
taj način ne mogu Terapija za šum i Vježbe biti otvoreni istovremeno
        podizbornik.Visible = true;
    }
    else
        podizbornik.Visible = false; //zatvaranje
}

```

Osim glavnog izbornika, početni prozor sadrži panel `panelChildForm` u kojem će biti smješteni *child* prozori. Moguće je otvoriti samo jedan potprozor u panelu. Metoda `OtvoriChildForm` s ulaznim parametrom `childForm` i varijablom metode `aktivniForm` kontrolira otvaranje *child* prozora. U slučaju promjene vrijednosti varijable `aktivniForm`, aktivni potprozor se zatvara.. Zatvaranjem potprozora u početnom prozoru vidljiv je logo programa izrađen u programu `Paint`. Logo prikazuje slušanje kao složen misaoni proces kojim razlikujemo bitne signale od nebitnih.



*Slika 7 Logo programa*

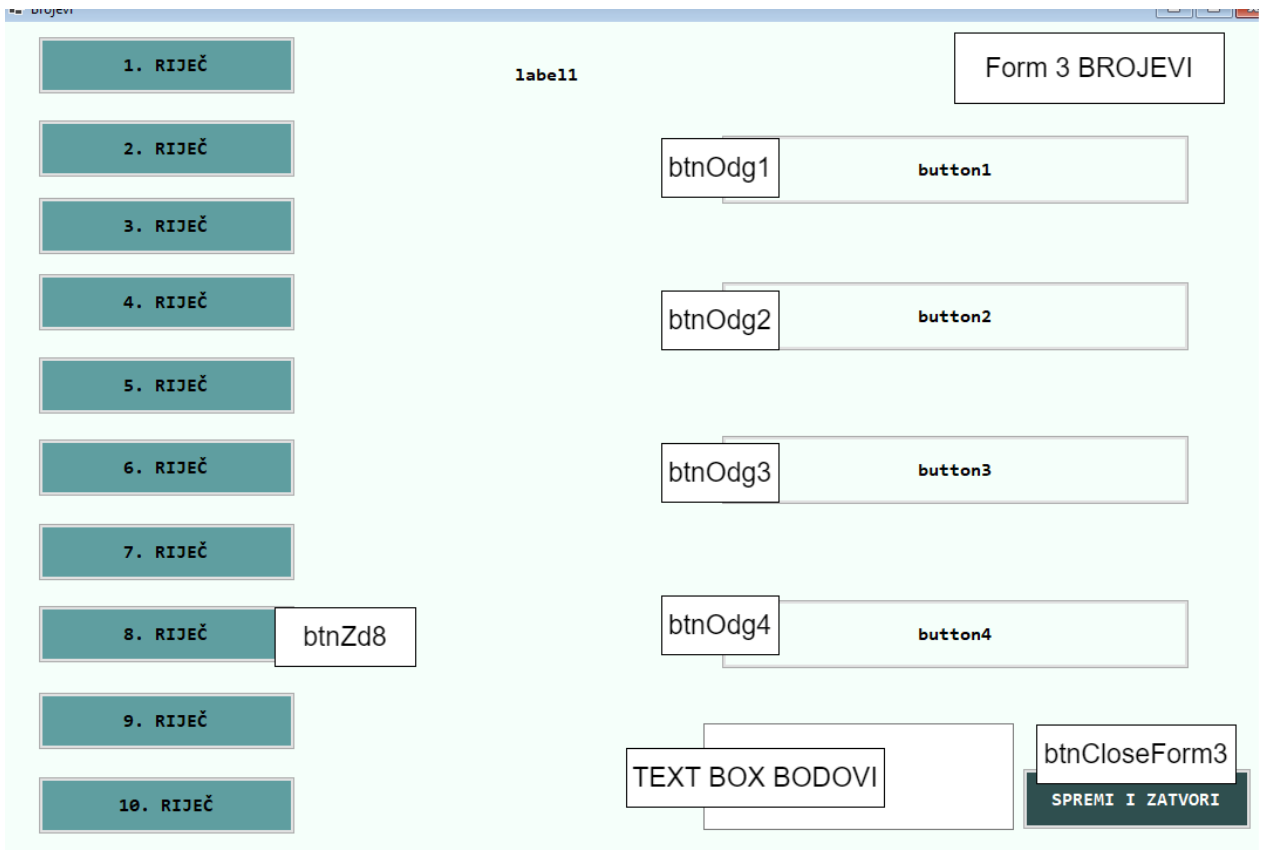
### **3.4 Vježbe slušanja**

Program sadrži deset setova vježbi slušanja, u svakoj vježbi je deset zadataka. Ovaj dio slušnog materijala sadrži snimke leksičkog i sintaktičkog materijala (vidjeti slike 9 i 10). Zasad program ima pet vježbi u kojima je leksički i sintaktički materijal zadan prema određenoj kategoriji (brojevi od 1 do 10, dani u tjednu, svakodnevnne fraze). Ove vježbe smatraju se nezahtjevnima jer se traži distinkcija slušanog materijala unutar zatvorenog seta riječi odnosno rečenica tako da se slušatelj u slučaju teškoća može osloniti na kontekst.

Ostalih pet vježbi sastoji se od otvorenih lista riječi i rečenica. Provjere slušanja u ovim zadacima sadrže liste izoliranih riječi i rečenica sastavljenih prema kriteriju frekvencijske visine. Svaka lista sadrži 20% riječi/rečenica zasićenih niskofrekventnim glasovima (optimale slušanja unutar 150 i 400 Hz), 20% riječi/rečenica zasićenih glasovima čije su optimale slušanja niskofrekventne i srednjefrekventne (od 300 do 1200 Hz), 20% riječi/rečenica zasićenih glasovima čije su optimale slušanja srednjefrekventne (od 800 do 2400 Hz), 20% riječi/rečenica zasićenih glasovima čije su optimale slušanja srednjefrekventne i visokofrekventne (od 1200 do 3200 Hz), 20% riječi/rečenica zasićenih glasovima čije su optimale slušanja visokofrekventne (od 3200 do 12800 Hz). Optimale slušanja za glasove hrvatskog jezika utvrđene su u ispitivanjima provedenim na ispitanicima urednog prosječnog praga sluha. Nizom istraživanja koje su proveli fonetičari

otkrivene su i utvrđene navedene optimalne (Guberina 1956, 1964, 1972, Škarić 1964, Horga 1971, prema Rulenkova 2015, 27-28).

Ako se prisjetimo ranije navedenih doprinosa VT metode u području audiologije, onda možemo očekivati da će osoba sa značajnim gubitkom sluha bez obzira na pojačani intenzitet preko slušalica ili zvučnika imati znatno smanjenu slušnu razabirljivost izoliranih riječi i rečenica, a vjerojatno će imati teškoće razabiranja i u lakšim vježbama jer sluša bez filtriranja, u direktnom kanalu. U takvim slučajevima, loš rezultat u vježbama slušanja mogao bi korisnika potaknuti da razmotri korištenje slušnih pomagala. Očekuje se da korisnici s blažim i srednjim oštećenjem sluha, bez obzira na prisutnost tinitusa, mogu s lakoćom riješiti laganije vježbe, ali vježbe u kojima se provjerava razabirljivost izoliranih riječi mogle bi im predstavljati izazov (osobito vježba *Test 5* jer se sastoji samo od jednosložnih riječi) i pokazati slabiji rezultat u slušanju zbog suženog slušnog polja. Guberina (1965, 11) je utvrdio da „dok normalno uho ostvaruje adaptiranje svojih raznih mogućnosti nesvjesno i ugodno, oštećeno je uho prisiljeno, da strukturira svoje slušanje na onom pojasu ili pojasevima, koji još funkcioniraju.“ Osobama s oštećenim sluhom i slušnom razabirljivošću govora koja odstupa od referentnih vrijednosti treba prije svega preporučiti korištenje slušnog pomagala, a ovaj program mogao bi se koristiti kao pomoć u adaptaciji na slušno pomagalo kod osoba s blažim i srednjim oštećenjem sluha koje nisu u mogućnosti redovito dolaziti na audiorehabilitacijski tretman. Pretpostavlja se i da bi navedeni slušni materijal mogao biti od koristi i osobama koje slušanje ostvaruju pomoću umjetne pužnice, ali u kasnijim fazama rehabilitacijskog procesa uz obavezno redovito praćenje fonetičara rehabilitatora. Slika 8 prikazuje prozor za vježbe slušanja.



Slika 8 Elementi prozora za vježbe

### 3.4.1 Snimanje materijala

Materijali za vježbe slušanja snimljeni su u akustički izoliranoj prostoriji, a obrađeni su i spremljeni u format .wav pomoću programa Praat. Radi se o besplatnom softveru za istraživanja i analizu govora, čiji su autori Paul Boersma i David Weenink (Boersma i Weenink, 2021). Program postoji od 1992. godine. Praat je također korišten za generiranje čistih tonova i filtriranje glazbe za potrebe TMNMT što će biti objašnjeno kasnije u poglavlju 3.5. Slike 9 i 10 prikazuju listu snimljenih materijala.



dobar dan	cet	vidimo se cet
dobar tek	ned	vidimo se ned
dobra vecer	petak	vidimo se petak
dobro jutro	pon	vidimo se pon
dovidjenja	sri	vidimo se sri
hvala	sub	vidimo se sub
izvolite	uto	vidimo se uto
kako se zovete	cetiri	vidimo u 1h
koliko je sati	deset	vidimo u 2h
oprostite	devet	vidimo u 3h
vidimo se	dva	vidimo u 4h
	jedan	vidimo u 5h
	osam	vidimo u 6h
	pet	vidimo u 7h
	sedam	vidimo u 8h
	sest	vidimo u 9h
	tri	vidimo u 10h

Slika 9 Popis snimljenih materijala za vježbu: fraze, brojevi i dani u tjednu

bura	glava	dama	caj	lice	bozo hoda oko
guba	grom	dom	ceser	lisica	branko kupuje bombon
kum	lov	koza	dak	list	brod je pun mornara
mornar	noga	krava	jaje	pec	dario krade drva
plug	oblak	kreda	ljeto	psi	ivica ima zeca
umor	oko	macka	secer	stisak	psi laju na cesti
ura	voda	mak	sjena	viski	roda lovi zabe
vuk	vol	rak	teta	zec	secer je u caju
					teta zeli citati
					vol vuca kola

Slika 10 Popis snimljenih materijala za vježbu - popisi riječi i rečenica prema frekvencijskim karakteristikama glasova

### 3.4.2 Kod

U svakoj vježbi korisnik ima zadatak odrediti što je čuo, predviđeno je da pokrene snimku riječi ili rečenice pritiskom na gumb, zatim odabire odgovor pritiskom na jedan od ponuđenih odgovora.

Datoteke potrebne za slušne vježbe nalaze se u mapi programa. U ranijim verzijama programa metoda je pokretala datoteku prema upisanoj adresi, ali da bi se osiguralo pokretanje datoteka bez javljanja greške bilo je potrebno pohraniti materijale unutar programa.

Kako bi se pokretale snimke bilo je potrebno pozvati imenski prostor (eng. *namespace*) preko naredbe: `using System.Media;`. Imenski prostor sadrži sve klase povezane imenom (Gocić, 2013, 32).

Metoda za pokretanje snimke:

```
private void BtnZd8_Click(object sender, EventArgs e)
{
    SoundPlayer simpleSound8 = new SoundPlayer("osam.wav");
    simpleSound8.Play();
}
```

U ovom primjeru vidimo da se pritiskom na kontrolu btnZd8 pokreće "Click Event" tj. funkcija `BtnZd8_Click` čiji su parametri `sender`, klase `Object` i temeljna klasa `EventArgs` s parametrom `e`. Objekt `simpleSound8` klase `SoundPlayer` kontrolira pokretanje zvuka. Izraz `new SoundPlayer("osam.wav")` inicijalizira novu instancu klase `SoundPlayer` i prilaže datoteku `osam.wav` koja se zatim pokreće pomoću metode objekta `simpleSound8.Play()`.

Tijek vježbi kontrolira se preko metode `ProvjeriRijec` s parametrom `redniBrTestiraneRijeci` koja je inicijalizirana odmah na početku nakon inicijalizacije komponenti. Svaki odabir odgovora, bez obzira radi li se o točnom ili netočnom odgovoru, povećava vrijednost varijable `redniBrTestiraneRijeci` do 10. Nakon preslušavanja snimke, korisnik odabire ponuđeni odgovor klikom na `btnOdg1`, `btnOdg2`, `btnOdg3` ili `btnOdg4`. Vrijednost varijable `tocanOdgovor` određena je u metodi `ProvjeriRijec` pomoću naredbe `switch case`:

```

switch (rednibr_provjere)
{
    case 1:

        lblProvjera.Text = "1. Prva riječ je...";
        btnOdg1.Text = "JEDAN";
        btnOdg2.Text = "DESET";
        btnOdg3.Text = "TRI";
        btnOdg4.Text = "ČETIRI";

        tocanOdgovor = 4;

        break;

    case 2:
        btnZd2.Visible = true;
        lblProvjera.Text = "2. Druga riječ je...";
        btnOdg1.Text = "DEVET";
        btnOdg2.Text = "DVA";
        btnOdg3.Text = "TRI";
        btnOdg4.Text = "PET";

        tocanOdgovor = 2;

        break;

    (...)
}

```

Klikom na bilo koji od ponuđenih odgovora pokreće se metoda `ProvjeriSlusanje` u kojoj je lokalna varijabla tipa `var` povezana s parametrom `sender`, klase `Button`. Podaci o objektu koji je poslao event bilježe se preko kontrole `Tag`. Budući da su odgovori označeni brojevima, `var` tip lokalne varijable trebalo je konvertirati u `int` pomoću metode `Convert.ToInt32`. Metoda `ProvjeriSlusanje` koristi još varijable `int tocanOdgovor`, `int redniBrTestiraneRijeci` (1 je početna vrijednost), `int brBodova`, `int totalTestRijeci` (ima vrijednost 10) i `int postotak`.

U slučaju da je odabrani odgovor označen kao točan povećava se broj bodova:

```

if (buttonTag == tocanOdgovor)
{
    brBodova++;
}

```

Kada je vrijednost varijable `redniBrTestiraneRijeci` jednaka vrijednosti varijable `totalTestRijeci`, izračunava se postotak.

```
if (redniBrTestiraneRijeci == totalTestRijeci)
{
    //izracun postotka

    postotak = (int)Math.Round((double)(brBodova * 100) /
totalTestRijeci);
```

Po završetku vježbi korisnik dobiva prikaz rezultata, naziva vježbe i datuma.

```
textBoxBodovi.Visible = true;

textBoxBodovi.Text = "Rezultat " + brBodova + "/10" + ", BROJEVI-RIJEČI, "
+ dateTimePicker1.Text;
```

Podaci se spremaju klikom na "Spremi i zatvori" tj. na button objekt `btnCloseForm3`:

```
private void btnCloseForm3_Click_1(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        TextWriter textRezultati = new StreamWriter("Rezultati Brojevi
Rijeci.txt");
        textRezultati.Write(textBoxBodovi);
        textRezultati.Close();
    }
    catch (Exception ex) { MessageBox.Show(ex.Message); }
    this.Close();
}
```

Korištenje klasa `TextWriter` i `StreamWriter` bilo je potrebno kako bi se podaci spremali u mapama programa u obliku txt datoteka. Korištenje navedenih klasa omogućeno je preko naredbe `"using System.IO;"`. Izvještaji o uspješnosti automatski se pohranjuju u mapu programa.

### 3.5 Terapija za tinitus

Drugi dio programa ima funkciju identifikacije centralne frekvencije tinitusa i dohvaćanja adekvatne terapije. Frekvencija tinitusa traži se pomoću čistih tonova.

#### 3.5.1 Čisti tonovi

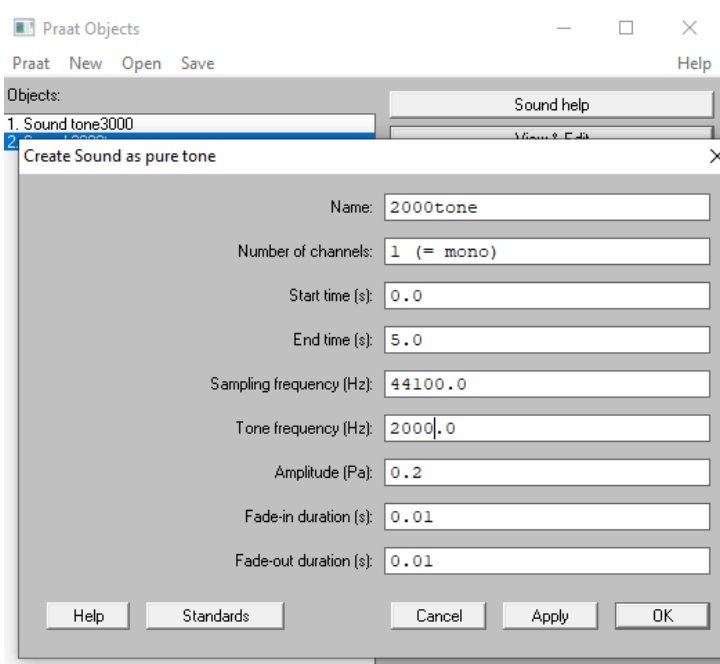
Za uspješnu primjenu terapije zvukom neophodno je identificirati frekvenciju tinitusa, a za pretraživanje se koriste čisti tonovi frekvencija u Hz: 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000 i 10 000. Identifikacija frekvencije tinitusa pomoću čistih tonova omogućava odabir glazbenog materijala za TMNMT (tablica 4).

*Tablica 4 Popis tercnih pojasno nepropusnih filtara*

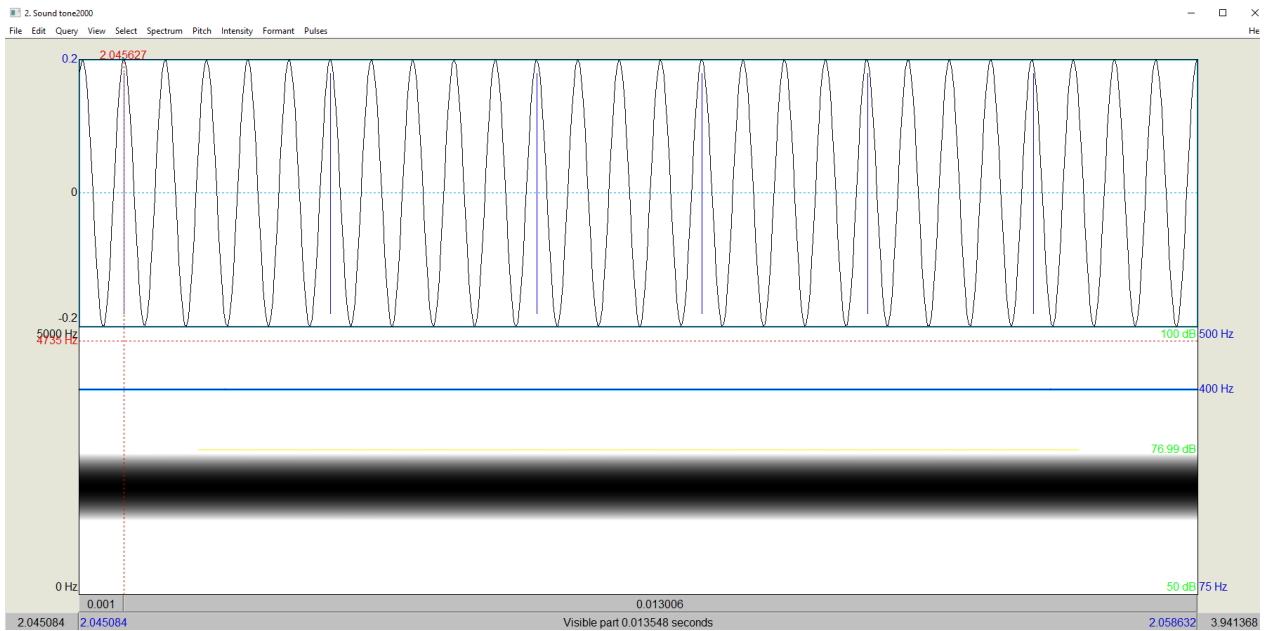
<b>Centralna frekvencija (fc) [Hz]</b>	<b>Donja frekvencija (fd) [Hz]</b>	<b>Gornja frekvencija (fg) [Hz]</b>
2000	1414	2828
2500	1767	3535
3150	2227	4454
4000	2828	5656
5000	3535	7071

6300	4454	8909
8000	5656	11313
10000	7071	14142

Čisti tonovi generirani su pomoću programa Praat. Pokretanjem Praata otvara se prozor *Praat Objects*. U Praat objektima klikom na opciju *New – Sound – Create Sound as pure tone* otvara se prozor u kojem se podešavaju karakteristike zvuka. Određen je naziv tona, trajanje (5 sekundi) i frekvencija tona u Hz, dok ostale postavke nisu mijenjane (slika 11). Slika 12 prikazuje generirani čisti ton frekvencije 2000 Hz.

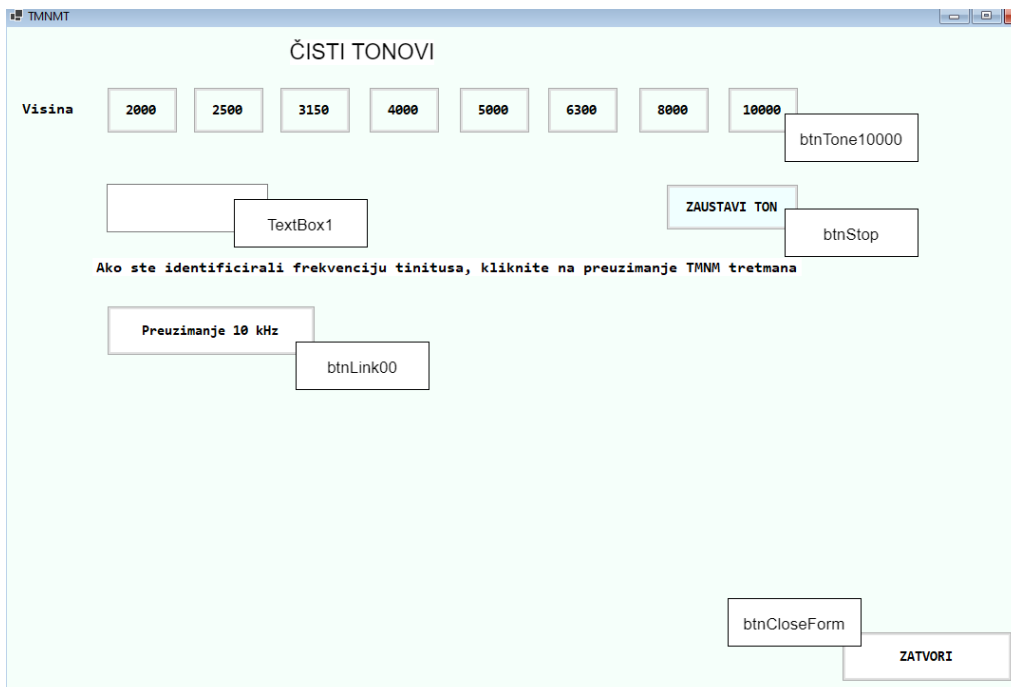


Slika 11 Postavke generiranja čistog tona u trajanju od 5 sekundi i frekvencije 2 kHz



*Slika 12 Valni oblik i spektrogram generiranog zvuka frekvencije 2 kHz u Praat editoru*

Slika 13 prikazuje prozor s elementima za identifikaciju tinitusa pomoću čistih tonova i preuzimanje glazbe za TMNMT. Svaka frekvencija ima svoj button objekt za pokretanje tona i preuzimanje materijala. Button objekti u svojem nazivu imaju naznačenu vezu s frekvencijom npr. čisti ton frekvencije 10 000 Hz pokreće se preko click eventa objekta btnTone10000.



Slika 13 Elementi prozora za terapiju tinitusa

S pokretanjem zvuka za identifikaciju tinitusa pojavljuje se uputa za korisnika da može preuzeti materijale, ako je prepoznao frekvenciju svojeg tinitusa. Podatke o prepoznatoj frekvenciji moguće je spremiti u tekstualnu datoteku Frekvencija suma.txt:

```

TextWriter textFrekvencija = new StreamWriter("Frekvencija suma.txt");
textFrekvencija.Write(textBox1);

textFrekvencija.Close();

```

Zvuk za prepoznavanje frekvencije tinitusa moguće je prekinuti prije završetka:

```

SoundPlayer stop = new SoundPlayer(@"trazenjeSuma");

stop.Stop();

```

Kontrola za preuzimanje je nevidljiva do pokretanja click eventa.

```

private void btnTone8000_Click(object sender, EventArgs e)
{

```



```

SoundPlayer simpleSound8000 = new SoundPlayer(@"trazenjeSuma\tone8000.wav");
simpleSound8000.Play();
(...)

label1.Visible = true;
btnLink2.Visible = false;
btnLink2_5.Visible = false;
btnLink3_15.Visible = false;
btnLink4.Visible = false;
btnLink5.Visible = false;
btnLink6_3.Visible = false;
btnLink8.Visible = true;
(...)
}

```

Za pokretanje čistih tonova u wav formatu koristi se: "using System.Media", a za spremanje identificirane frekvencije tinitusa u tekstualnu datoteku: "using System.IO;". Ovisno o identificiranoj frekvenciji tinitusa, otvara se poveznica preko koje se može preuzeti glazbena terapija.

Poveznica otvara mapu s terapijom za tonalni tinitus čija je frekvencija 3150 Hz pri čemu je vrijednost string varijable url3\_15kHz određena kodom:

```
string url3_15kHz = "https://mega.nz/folder/BUk1HRrQ#LjA0kGy05qsGnBME9ciXGg";
```

Željena funkcionalnost bila je da korisnik preko poveznice preuzme glazbu za terapiju što se ostvaruje naredbom koja pokreće komandnu liniju (Eric Mellino, "How to Start the System Default Browser. · Issue #17938 · Dotnet/Runtime," n.d.):

```

if (RuntimeInformation.IsOSPlatform(OSPlatform.Windows))
{
    Process.Start(new ProcessStartInfo("cmd", $"/c start {url3_15kHz} "));
}

```

U ovom slučaju utvrđuje se je li naredba pokrenuta u operativnom sustavu Windows te se zadani link otvara u zadanom pregledniku sustava pomoću *cmd.exe*.

### 3.5.2 Podaci o glazbenom materijalu

Za svaku frekvenciju tinitusa kreirana je posebna mapa s glazbom filtriranom na odgovarajući način. Ukupno je osam mapa: TM 2000, TM 2500, TM 3150, TM 4000, TM 5000, TM 6300, TM 8000 i TM 10000. Filtrirana je instrumentalna klasična, rock, pop, elektronska i retro (*old time*) glazba kako bi se izbjegla monotonija glazbene terapije. Format je wav, a bit rate je pretežno 1411 kbps. Ukupno trajanje glazbenih materijala po žanru varira između 30 i 40 minuta.

Svi glazbeni materijali su preuzeti sa stranice [www. freemusicarchive.org](http://www.freemusicarchive.org) koja dopušta preuzimanje i korištenje *royalty-free* glazbe pod *Creative Commons* licencom. Licenca dopušta dijeljenje i prilagođavanje glazbe za vlastite potrebe pod uvjetom da korisnik navede autore. Zbog toga se u svakoj mapi nalazi tekstualna datoteka koja sadrži sve podatke o korištenim pjesmama (nazive, autore, poveznice na *Free Music Archive* i *Creative Commons* uvjete). Klikom na Info u podizborniku otvara se novi potprozor u kojem su dostupne informacije o TMNMT, programu Praat i izvornim autorima glazbenih materijala.

### 3.5.3 Filtriranje

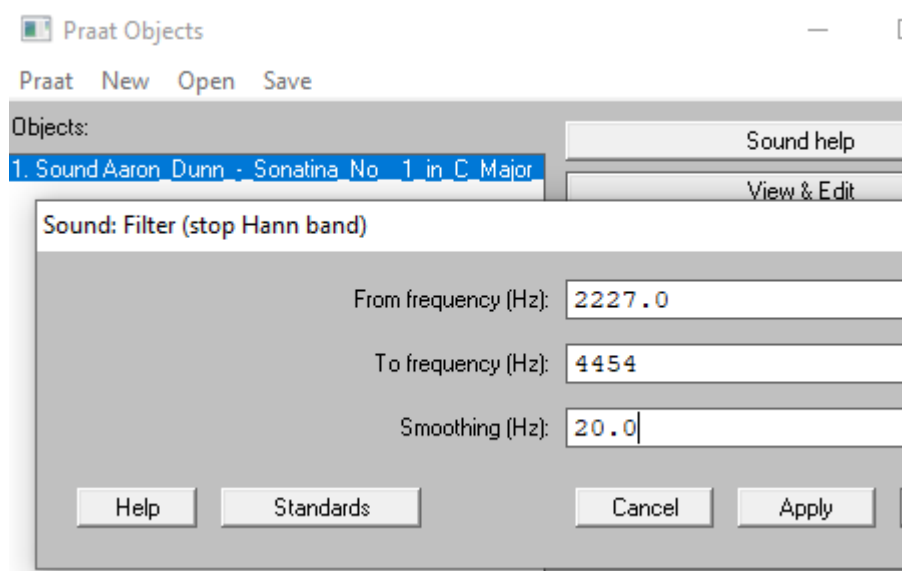
Prema Okamoto, Stracke, Stoll i Pantev (2010, 1208) oktavni filtri pokazali su se kao učinkovit alat za prilagodbu glazbe za TMNMT. Sukladno načinima obrade glazbenog materijala u literaturi i mi smo koristili oktavni filtar. Filtriranje je obuhvaćalo nekoliko koraka. Prvo su za zadane centralne frekvencije tinitusa ( $f_c$ ) u tablici 4 izračunate donje frekvencije ( $f_d$ ) i gornje frekvencije ( $f_g$ ) u širini 1 oktave prema formuli:

$$f_d = f_c * \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$f_g = f_c * \sqrt{2}$$

Tablica 4 prikazuje dobivene donje i gornje frekvencije s obzirom na širinu oktave. Nakon što su utvrđene donje i gornje vrijednosti oktavnog filtra, moglo se započeti s filtriranjem glazbenih materijala koristeći pojasno nepropusni filtar programa Praat (slika 14). Svaku pjesmu bilo je

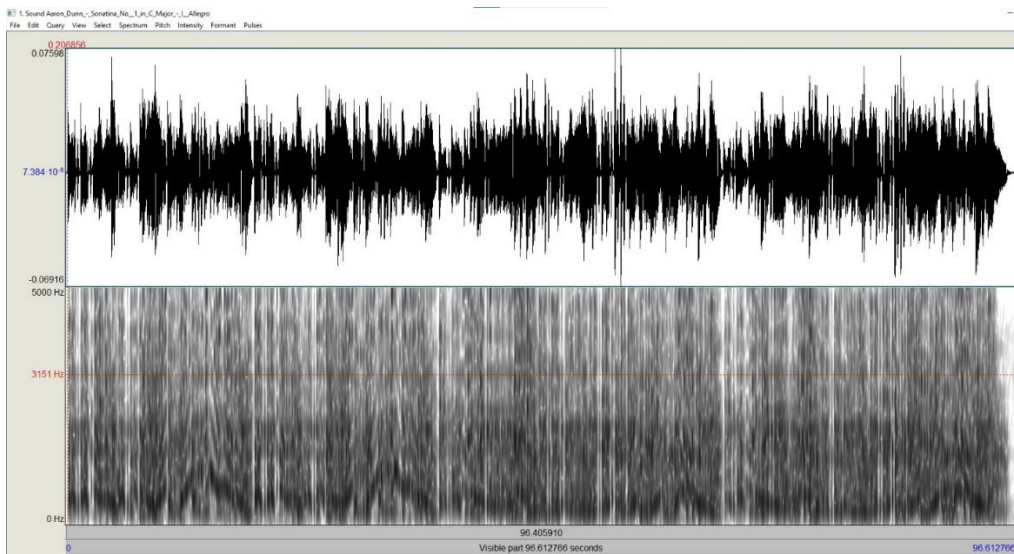
potrebno otvoriti u Praat objektima i odabrati opcije *Filter – Filter (stop Hann band)*. Nakon odabira ove opcije otvara se novi prozor u kojem je potrebno odrediti postavke filtriranja. Upisuju se vrijednosti donje i gornje frekvencije i "izgladivanja" rezova (eng. *smoothing*) u Hz.



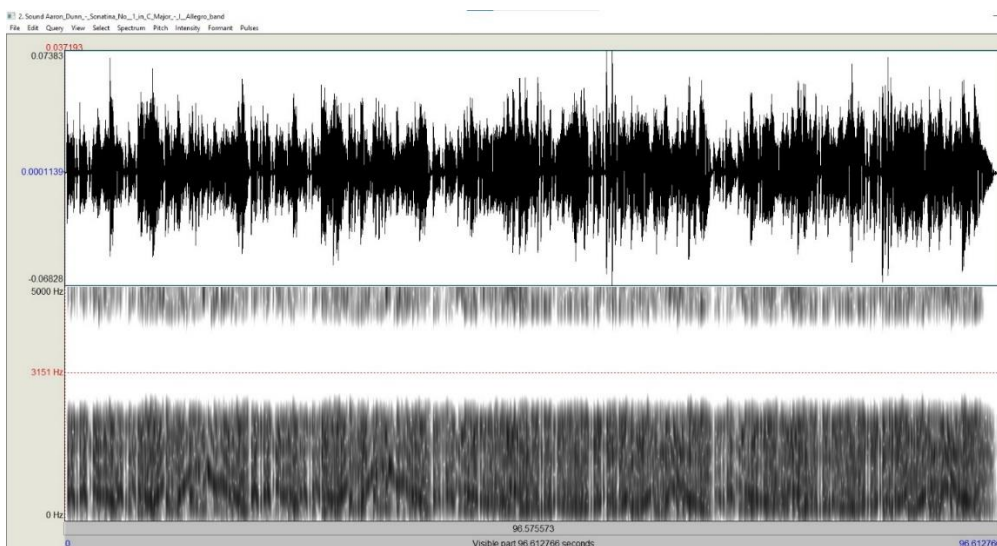
Slika 14 Filtriranje pojasno nepropusnim filtrom u programu Praat

Prema preporuci Styler (2022, 35) za opciju *smoothing* odabrana je vrijednost 20 Hz. Nakon potvrde, program generira filtriranu verziju pjesme. Slika 15 prikazuje spektralni prikaz izvorne pjesme, a slika 16 prikazuje filtriranu pjesmu u cijelosti. Slike 17 - 19 prikazuju kratak odsječak izvorne i filtrirane pjesme. Iz priloženih slika jasno je vidljivo kako u filtriranim uzorcima nedostaje akustička energija u zadanom oktavnom rasponu. Subjektivnom procjenom filtrirana verzija pjesme zvuči dublje i prigušeno što je u skladu s očekivanjima jer su "izrezane" upravo one frekvencije na koje je ljudsko uho najosjetljivije. Prema Schnupp, Nelken i King (2010, 49) najbolje detektiramo frekvencije između 1 i 4 kHz, a prema Berne i Levy (1996, 155) 1 i 3 kHz.

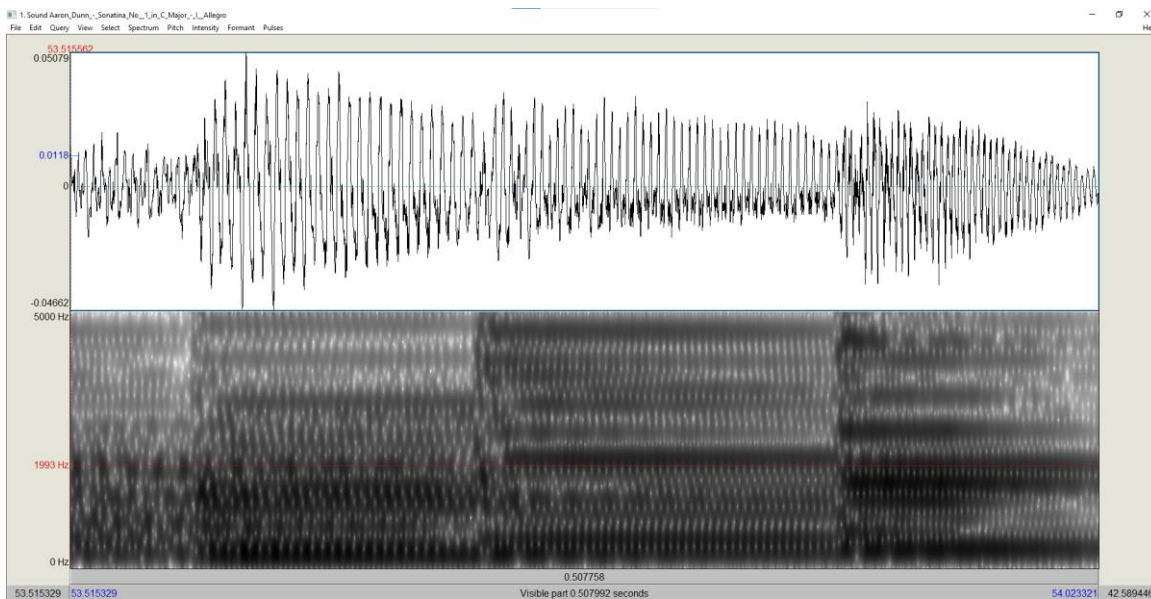
U uzorcima koji su filtrirani pojasno nepropusnim filtrima centralnih frekvencija 2000, 2500, 3150 i 4000 Hz najbolje se opažaju efekti filtriranja.



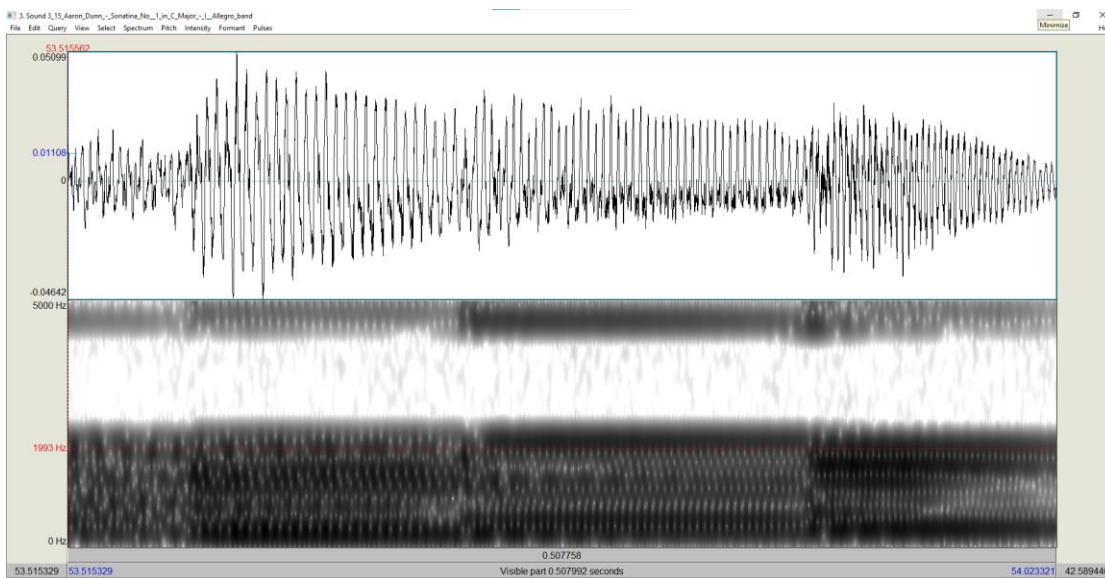
*Slika 15 Spektralni prikaz izvorne pjesme*



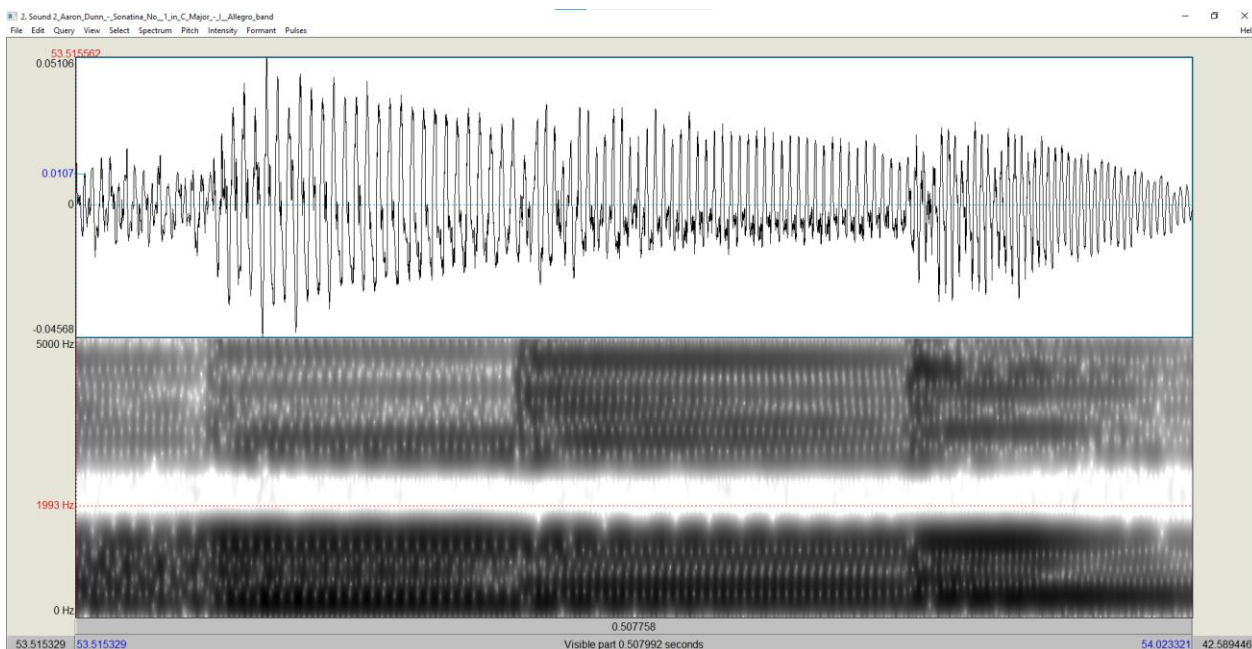
*Slika 16 Spektralni prikaz filtrirane pjesme, fc je 3150 Hz*



*Slika 17 Spektralni prikaz odsječka izvorne pjesme*



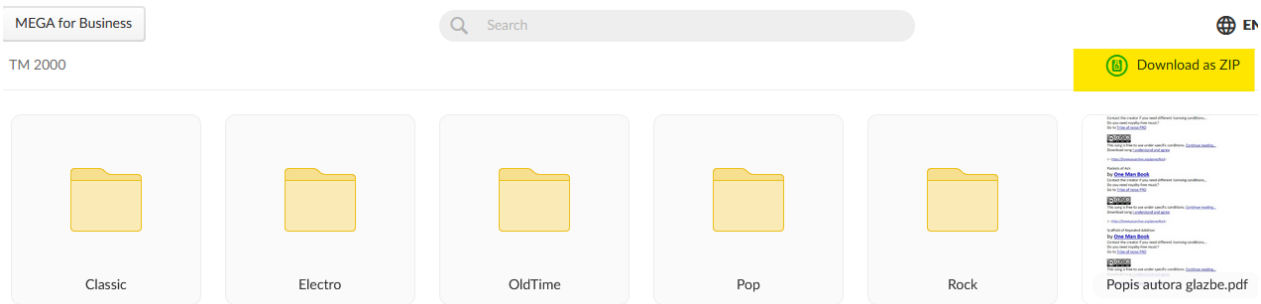
*Slika 18 Spektralni prikaz odsječka filtrirane pjesme,  $f_c$  je 3150 Hz*



*Slika 19 Spektralni prikaz odsječka filtrirane pjesme,  $f_c$  je 2000 Hz*

### 3.5.4 Preuzimanje glazbenih zapisa

Glazbeni materijali za terapiju tinitusa zahtijevaju ukupno 13,6 GB za pohranu. Kako bi se izbjeglo nepotrebno preopterećenje programa, glazbene mape su pohranjene u oblaku na servisu Mega. Svaka mapa prema identificiranoj frekvenciji se dohvaća u programu preko posebne poveznice. Platforma Mega odabrana je za čuvanje glazbenih materijala jer omogućava pohranu 20 GB podataka bez naplate i nije potrebno da se korisnici registriraju kako bi mogli preuzeti materijale. Nakon što korisnik u programu odabere preuzimanje, otvara se poveznica na mapu u zadanom pregledniku i podaci se jednostavno preuzimaju klikom na opciju "Download as ZIP" (vidjeti sliku 20). Predviđeno je da korisnik samostalno "raspakira" ZIP mapu i da preslušava glazbu u nekom od instaliranih programa za reprodukciju multimedijalnih sadržaja.



*Slika 20 Preuzimanje terapijskih glazbenih materijala*

### 3.6 Bilješke

Korisnik može čitati i spremati txt i rtf datoteke. Pretpostavlja se da će bilješke koristiti korisnici koji žele u formatu tekstualne datoteke voditi dnevnik slušanja. Predviđeno je da program testiraju korisnici pa će se nakon testiranja utvrditi je li ova funkcionalnost potrebna.

Prilikom dizajniranja prozora za bilješke bilo je potrebno iz Toolboxa dodati openFileDialog i saveFileDialog te u postavkama podesiti Filter za txt i rtf vrste datoteka. Otvaranjem FileDialoga pomoću odgovarajuće kontrole btnOtvoriBiljeske pretražuju se nazivi datoteka, provjerava se datotečni nastavak i metoda AppendText prilaže tekst.

Tekst se može spremati u .txt ili .rtf format, važnu ulogu u određivanju formata igra FilterIndex (“Learn C# with Windows Forms and a Variety of Projects,” n.d.). Ako je njegova vrijednost jednaka 1 onda će se tekst spremati u .txt, a ako je jednaka 2 onda se tekst sprema u .rtf.

## **Zaključak**

U opisanom projektu izrade programa za vježbe slušanja i terapiju tinitusa, primijenjene su spoznaje iz područja audiologije i audiorehabilitacije. S obzirom na građu i način funkcioniranja ljudskog slušnog sustava koji je tonotopno organiziran i prilagodljiv zahvaljujući redundanciji i plastičnosti navedeni rehabilitacijski postupci izvedeni u obliku računalnog programa mogli bi pomoći korisnicima sa smetnjama razumljivosti govora izazvanih slabijim sluhom i/ili tinitusom. Očekuje se da će program podići svijest korisnika o važnosti redovitog kontroliranja stanja sluha. Nastojali smo slijediti osnovne verbotonalne principe prilikom dizajniranja vježbi pa se polazi od poznatih prema nepoznatim pojmovima i od optimalnih prema neoptimalnim uvjetima. U budućim verzijama programa planira se dodavanje novih slušnih vježbi. Najzahtjevniji dio projekta bilo je osmišljavanje terapije za tinitus. Analizom brojnih istraživanja došli smo do zaključka da je TMNMT najpogodnija za ovu svrhu, međutim, trenutno nije poznato koliko dugo korisnici trebaju koristiti program te hoće li biti potrebna periodična ponavljanja terapije. Korisnicima će biti preporučeno da vode dnevnik slušanja (spremanjem bilješki pomoću programa ili vođenjem osobnih pisanih bilješki) kako bi se utvrdio optimalan način korištenja vježbi i terapije. Program zasad još nisu testirali korisnici kojima je namijenjen. U planu je testiranje programa, bilježenje korisničkih iskustava i praćenje učinaka programa na slušanje i slušno funkcioniranje, a u skladu s dobivenim podacima program će se još razvijati. Postojeće funkcionalnosti su kompromis između automatizacije procesa i individualizacije terapijskih postupaka. Pretpostavlja se da će u idućim fazama biti potrebno obogatiti ponudu zadataka za vježbe slušanja, omogućiti slušanje filtriranih leksičkih i sintaktičkih materijala te proširiti izbor glazbenih materijala za terapiju tinitusa.



## Popis literature

- Abouzari, M., Goshtasbi, K., Sarna, B., Ghavami, Y., Parker, E. M., Khosravi, P., Mostaghni, N, Jamshidi, S., Saber, T. i Djalilian, H. R. (2021). Adapting Personal Therapies Using a Mobile Application for Tinnitus Rehabilitation: A Preliminary Study. *The Annals of Otolaryngology, Rhinology, and Laryngology*, 130(6), 571–577. <https://doi.org/10.1177/0003489420962818>
- Abrus, L. i Pavlešić, D. (2004). *Microsoft.NET: simfonija programiranja*. Zagreb: BUG & Sysprint.
- Baguley, D., McFerran, D. i Hall, D. (2013). Tinnitus. *The Lancet*, 382(9904), 1600–1607. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)60142-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)60142-7)
- Bauer, C. A. (2018). Tinnitus. *New England Journal of Medicine*, 378(13), 1224–1231. <https://doi.org/10.1056/NEJMcp1506631>
- Berne, R. M. i Levy, M. N. (1996). *Fiziologija* (3. izd). Zagreb: Medicinska naklada.
- Boersma, P. i Weenink, D. (2021). Praat (Version 6.1.55). Amsterdam, The Netherlands: University of Amsterdam. Preuzeto 28. listopada 2021. s <https://www.fon.hum.uva.nl/praat/>
- Chan, J. (2015). *C#: Learn C# in One Day and Learn It Well. C# for Beginners with Hands-on Project*. (1st edition). Learn Coding Fast.
- Charlton T. Lewis, Charles Short, A Latin Dictionary, tinnītus. (2022, April 26). Preuzeto 26. travnja 2022., s <http://www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Perseus:text:1999.04.0059:entry=tinnitus>
- Eysenck, M. W. i Keane, M. T. (2000). *Cognitive Psychology: A Student's Handbook*. Taylor & Francis.

Guberina, P. (2010). *Govor i čovjek: Verbotonalni sistem* (V. Crnković i I. Jurjević-Grkinić, ur.). Zagreb: Poliklinika za rehabilitaciju slušanja i govora SUVAG : ArTresor naklada.

Guberina, P. (1965). *Verbo-tonalna metoda u audiologiji*. Zagreb: Zavod za fonetiku. Štampani rukopis. Sva prava pridržana. Izvornik u: *Encyclopedie Medico-Chir., ORL*, 9, 1957, Paris

Hobson, J., Chisholm, E. i Refaie, A. E. (2012). Sound therapy (masking) in the management of tinnitus in adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (11).

<https://doi.org/10.1002/14651858.CD006371.pub3>

How to start the system default browser. · Issue #17938 · dotnet/runtime. (2022, April 20). Preuzeto 21. travnja 2022. s GitHub web stranice: <https://github.com/dotnet/runtime/issues/17938>

Koji su najpoznatiji operativni sustavi za PC i pametne telefone? (21. 05. 2019). Preuzeto 22. travnja 2022. s RTL web stranice: <https://www.rtl.hr/zivotistil/tehnologija/3453999/koji-su-najpoznatiji-operativni-sustavi-za-pc-i-pametne-telefone/>

Learn C# with Windows Forms and a Variety of Projects. (2022, April 21). Preuzeto 21. travnja 2022. s Udey: <https://www.udemy.com/course/learn-c-with-windows-forms-and-vs-2017/>

Mahboubi, H., Haidar, Y. M., Kiumehr, S., Ziai, K. i Djalilian, H. R. (2017). Customized Versus Noncustomized Sound Therapy for Treatment of Tinnitus: A Randomized Crossover Clinical Trial. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, 126(10), 681–687.

<https://doi.org/10.1177/0003489417725093>

- Mahulja-Stamenković, V., Prpić, I., Zaputović, S., Kirinčić, N., Tomašić-Martinis, E., Dujmović, A. i Haller, H. (2005). Probir novorođenčadi na oštećenje sluha s posebnim osvrtom na rizičnu novorođenčad. *Medicina*, 42(1), 25–30.
- Mildner, V. (2003). *Govor između lijeve i desne hemisfere*. Zagreb: IPC grupa.
- Miles, R. (2019). *The C# Programming Yellow Book: Learn to program in C# from first principles*. Independently published.
- Nagaraj, M. K. i Prabhu, P. (2020). Internet/smartphone-based applications for the treatment of tinnitus: A systematic review. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 277(3), 649–657. <https://doi.org/10.1007/s00405-019-05743-8>
- Okamoto, H., Stracke, H., Stoll, W. i Pantev, C. (2010). Listening to tailor-made notched music reduces tinnitus loudness and tinnitus-related auditory cortex activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(3), 1207–1210. <https://doi.org/10.1073/pnas.0911268107>
- Padovan, I., Kosoković, F., Pansini, M. i Poljak, Ž. (1991). *Otorinolaringologija: Za studente medicine i stomatologije*. Zagreb: Školska knjiga.
- Pinel, J. P. J. (2002). *Biološka psihologija* (L. Arambašić, M. Tadinac Babić i S. Szabo, prev.). Jastrebarsko: Naklada Slap.
- Ramel, B. D. 10.01. 2022. C# Fails in TIOBE Programming Language of the Year Bid. Preuzeto 20. travnja 2022. s Visual Studio Magazine: <https://visualstudiomagazine.com/articles/2022/01/10/tiobe-2021.aspx>

- Rulenkova, L. I. (2015). *Kako malo gluho dijete naučiti slušati i govoriti primjenom verbotonalne metode*. Zagreb: Poliklinika SUVAG.
- Sato, T., Yabushita, T., Sakamoto, S., Katori, Y. i Kawase, T. (2020). In-home auditory training using audiovisual stimuli on a tablet computer: Feasibility and preliminary results. *Auris, Nasus, Larynx*, 47(3), 348–352. <https://doi.org/10.1016/j.anl.2019.09.006>
- Schnupp, J., Nelken, I. i King, A. J. (2010). *Auditory Neuroscience: Making Sense of Sound*. Cambridge, MA, USA: MIT Press.
- Sherlock, L. P. i Eisenman, D. J. (2020). Current Device-based Clinical Treatments for Tinnitus. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 53(4), 627–636. <https://doi.org/10.1016/j.otc.2020.03.010>
- Stein, A., Wunderlich, R., Lau, P., Engell, A., Wollbrink, A., Shaykevich, A., Kuhn J. T., Holling, H., Rudack, C. i Pantev, C. (2016). Clinical trial on tonal tinnitus with tailor-made notched music training. *BMC Neurology*, 16(1), 38. <https://doi.org/10.1186/s12883-016-0558-7>
- Styler, W. (19. 03. 2022). Using Praat for Linguistic Research. Preuzeto 22. travnja 2022. s <https://wstyler.ucsd.edu/praat/UsingPraatforLinguisticResearchLatest.pdf>
- Tunkel, D. E., Bauer, C. A., Sun, G. H., Rosenfeld, R. M., Chandrasekhar, S. S., Cunningham, E. R., Archer, S. M., Blakley, B. W., Carter, J. M., Granieri, E. C., Henry, J. A., Hollingsworth, D., Khan, F. A., Mitchell, S., Monfared, A., Newman, C. W., Omole, F. S., Douglas Phillips, C., Robinson, S. K., Taw, M. B., Tyler, R. S., Waguespack, R. i Whamond, E. J. (2014). Clinical

Practice Guideline: Tinnitus. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, 151(2\_suppl), S1–S40.

<https://doi.org/10.1177/0194599814545325>

Tuz, D., Isikhan, S. Y. i Yücel, E. (2021). Developing the computer-based auditory training program for adults with hearing impairment. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 59(1), 175–186. <https://doi.org/10.1007/s11517-020-02298-3>

Vanneste, S., van Dongen, M., De Vree, B., Hiseni, S., van der Velden, E., Strydis, C., Joos, K., Norena, A., Serdijn, W. i De Ridder, D. (2013). Does enriched acoustic environment in humans abolish chronic tinnitus clinically and electrophysiologically? A double blind placebo controlled study. *Hearing Research*, 296, 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2012.10.003>

Wang, H., Tang, D., Wu, Y., Zhou, L. i Sun, S. (2020). The state of the art of sound therapy for subjective tinnitus in adults. *Therapeutic Advances in Chronic Disease*, 11, 2040622320956426. <https://doi.org/10.1177/2040622320956426>

## Popis slika

Slika 1 Mehanoelektrično provođenje zvuka .....	3
Slika 2 Tonotopna organizacija pužnice.....	4
Slika 3 Model neuralnih mreža.....	5
Slika 4 TMNMT filtriranje.....	21
Slika 5 Filtriranje za TMNMT u istraživanju Stein et al. ....	22
Slika 6 Elementi izbornika .....	29
Slika 7 Logo programa .....	31
Slika 8 Elementi prozora za vježbe .....	33
Slika 9 Popis snimljenih materijala za vježbu: fraze, brojevi i dani u tjednu.....	34
Slika 10 Popis snimljenih materijala za vježbu - popisi riječi i rečenica prema frekvencijskim karakteristikama glasova .....	34
Slika 11 Postavke generiranja čistog tona u trajanju od 5 sekundi i frekvencije 2 kHz.....	39
Slika 12 Valni oblik i spektrogram generiranog zvuka frekvencije 2 kHz u Praat editoru .....	40
Slika 13 Elementi prozora za terapiju tinitusa.....	41
Slika 14 Filtriranje pojasno nepropusnim filtrom u programu Praat.....	44
Slika 15 Spektralni prikaz izvorne pjesme .....	45
Slika 16 Spektralni prikaz filtrirane pjesme, $f_c$ je 3150 Hz.....	45
Slika 17 Spektralni prikaz odsječka izvorne pjesme .....	46

Slika 18 Spektralni prikaz odsječka filtrirane pjesme, $f_c$ je 3150 Hz.....	46
Slika 19 Spektralni prikaz odsječka filtrirane pjesme, $f_c$ je 2000 Hz.....	47
Slika 20 Preuzimanje terapijskih glazbenih materijala.....	48

## **Popis tablica**

Tablica 1 Međunarodna klasifikacija slušnih oštećenja .....	7
Tablica 2 Pregled radova koji se bave tretmanima za tinitus .....	13
Tablica 3 Kratak pregled ispitivanja aplikacija za slušanje i tinitus.....	23
Tablica 4 Popis tercnih pojasno nepropusnih filtara .....	38

## **Popis pokrata**

Evocirana otoakustička emisija (E-OAE)

Brainstem Evoked Response Audiometry (BERA)

Verbotonalna metoda (VT)

Tailor-made notched music treatment (TMNMT)

Pitch-matched (PM)

Visual Analog Scale (VAS)

Auditory Steady State Response (ASSR)

Magnetna encefalografija (MEG)

Tinnitus Handicap Questionnaire (THQ)

Tinnitus Questionnaire (TQ)

Tinnitus Handicap Inventory (THI)

Kognitivno-bihevioralna terapija (CBT)

Tinnitus Retraining therapy (TRT)

Integrated Development Environment (IDE)

Visual Studio (VS)

Graphical User Interface (GUI)

Frekvencija (f)

Centralna frekvencija (fc)



Donja frekvencija ( $f_d$ )

Gornja frekvencija ( $f_g$ )