



Creative Commons Attribution –
NonCommercial 4.0 International License

Stručni rad

<https://doi.org/10.31784/zvr.11.1.18>

Datum primitka rada: 15. 12. 2022.

Datum prihvaćanja rada: 16. 3. 2023.

AUDIOVJEŽBE: RAČUNALNI PROGRAM ZA VJEŽBE SLUŠANJA I TERAPIJU TINITUSA

Mirta Čulina

Mag. educ. phon. rehab., audiorehabilitatorica, KBC Rijeka, Krešimirova ul. 42, 51 000 Rijeka, Hrvatska;
e-mail: mirtaculina@gmail.com

Andrea Andrijašević

Dr. sc., predavačica, Veleučilište u Rijeci, Vukovarska 58, 51 000 Rijeka, Hrvatska;
e-mail: andrea.andrijasevic@veleri.hr

SAŽETAK

Gubitak sluha i tinitus svakodnevno u znatnoj mjeri otežavaju govornu komunikaciju pogođenim osobama. Teškoće slušanja uzrokovane njima mogu se ublažiti različitim terapijskim pristupima, međutim rehabilitacijski postupci usmjereni na poboljšanje slušanja kod odrasle populacije slabo su zastupljeni u zdravstvenom sektoru. U novije vrijeme, računalni programi za tretiranje različitih zdravstvenih teškoća sve više pokazuju potencijal, no često dolaze uz naknadu za korištenje. U ovom radu, spoznaje iz područja audiologije i audiorehabilitacije primijenjene su pri izradi besplatnog računalnog programa na hrvatskom jeziku namijenjenog odrasloj populaciji s teškoćama razumijevanja govora zbog stečenog oštećenja sluha ili izazvanih pojavom tonskog tinitusa. Izbor vježbi i način prezentacije zadataka u izrađenom programu vođeni su suvremenim terapijskim pristupima, a oslanjaju se i na primjere modernih računalnih programa za rehabilitaciju slušanja. Program sadrži dvanaest slušnih vježbi različitog stupnja zahtjevnosti za testiranje slušne razabirljivosti prilikom čijeg dizajniranja su se slijedili osnovni verbotonalni principi, stoga se pristupa prepoznavanju poznatih pojmova prije nepoznatih i optimalnim uvjetima slušanja prije neoptimalnih. Osim vježbi slušanja, program omogućava korisniku identifikaciju frekvencije tonskog tinitusa te terapiju Tailor-made notched music training (TMNMT) terapijom glazbom, koja za cilj ima smanjenje njegovog intenziteta. Izrađeni program može poslužiti kao dodatak standardnim audiorehabilitacijskim postupcima kod osoba sa stečenim oštećenjem sluha, a, osim terapijske funkcije, može pomoći i pripadnicima opće populacije u objektivnijoj samoprocjeni njihovog slušnog funkcioniranja.

Ključne riječi: stečeno oštećenje sluha, tinitus, rehabilitacija, terapija glazbom, računalni program

1. UVOD

Prema izvješću Svjetske zdravstvene organizacije (WHO, 2021), danas je u svijetu gubitkom sluha zahvaćeno više od 1,5 milijardi ljudi, od čega njih 430 milijuna ima srednju ili tešku naglušnost – takozvano značajno oštećenje sluha koje zahtijeva rehabilitaciju, a predviđa se da će do 2050. godine svaka četvrta osoba u svijetu biti pogođena gubitkom sluha. U ovom kontekstu, pod pojmom rehabilitacija podrazumijevaju se sve informacije, interakcije, postupci, uređaji i terapije usmjerene na ublažavanje posljedica gubitka sluha (Bonetti *et al.*, 2017). Ukoliko nije tretiran, gubitak sluha otežava govornu komunikaciju i posljedično doprinosi društvenoj izolaciji i gubitku samostalnosti zahvaćenih pojedinaca, uz razvoj anksioznosti i depresije te smanjenje kognitivnih sposobnosti (WHO, 2021; Bonetti *et al.*, 2017; WHO, 2015; Lin, 2013). Nažalost, osobe urednog sluha ponekad nemaju dovoljno razumijevanja za osobe sa značajnim oštećenjem sluha pa se one povlače u sebe kako bi izbjegle stigmatu da su nezanimljivi sugovornici smanjenih mentalnih sposobnosti (Bonetti *et al.*, 2017; WHO, 2015). Osim poteškoća u komunikaciji, osobe sa stečenim oštećenjem sluha mogu imati probleme i s lokalizacijom izvora zvuka, smanjenom sposobnošću selektivnog slušanja, smanjenjem praga neugode, preosjetljivošću na male promjene intenziteta zvuka, kao i pojavom tinitusa (Bauer, 2018; Bess i Humes, 2003; Padovan *et al.*, 1991; Padovan i Šerčer, 1957).

Tinitus, odnosno percipiranje zvuka koji nema pripadajući izvor u okolini, jedan je od simptoma stečenog oštećenja sluha, ali se isto tako može javiti i kod osoba urednog sluha. Zahvaćene osobe opisuju ga riječima kao što su zvonjava, pištanje, pulsiranje, puhanje ili šuštanje, a često navode i osjećaj pritiska u ušima. Izvor tog zvuka smještaju jednostrano ili u oba uha, a ponekad njegovu poziciju ne mogu odrediti. Prema Bauer (2018) i Baguley *et al.* (2013), udio punoljetnih osoba zahvaćenih tinitusom kreće se između 10 i 25 posto. Njegova prevalencija povećava se s dobi, no danas se zbog povećane izloženosti buci često dijagnosticira i mlađim osobama (Bauer, 2018).

Dva su osnovna tipa tinitusa - objektivni i subjektivni. Subjektivni tinitus, koji je znatno češći, ujedno je i jedan od najistaknutijih simptoma gubitka sluha. Predstavlja izrazitu smetnju u otprilike od 1 do 7 posto opće populacije (Bauer, 2018) kod kojeg uzrokuje probleme sa spavanjem, a koji sa sobom povlače dodatne psihičke i fizičke tegobe poput slabije koncentracije i razdražljivosti. Iz tog razloga, tinitus se smatra faktorom koji utječe na povećani rizik od razvoja psihičkih oboljenja, u prvom redu anksioznog poremećaja i depresije (Olujić Tomazin i Bonetti, 2022; Bauer, 2018). Nažalost, za procjenu utjecaja tinitusa na psihičko funkcioniranje, njegove karakteristike poput frekvencije i intenziteta ne mogu se koristiti, budući da zvuk jakog intenziteta ne uzrokuje nužno anksioznost ili depresiju; tinitus postaje izrazita smetnja kada je osoba konstantno fokusirana na njega (Bauer, 2018).

Gubitak sluha razvija se postupno i bez boli, a zbog stigme vezane uz njega često godinama nakon primjećivanja prvih simptoma bude zataškavan i netretiran (Bonetti *et al.*, 2017). Često se tek nakon pojave tinitusa osoba odluči potražiti stručnu pomoć. Subjektivne audiometrijske pretrage - tonska i govorna audiometrija te objektivne - evocirana otoakustička emisija i evocirani slušni potencijali moždanog debla koriste se za utvrđivanje stanja slušnog sustava (Mahulja-Stamenković *et al.*, 2005; Padovan *et al.*, 1991). Osim ovih medicinskih pretraga, s ciljem postizanja što bolje rehabilitacije slušanja, može se ispitati i funkcionalnost slušanja izoliranih riječi različitih frekvencijskih

karakteristika uz korištenje Fletcherove skale za određivanje udaljenosti od ispitanika kako bi se utvrdilo njegovo optimalno slušno polje (Rulenkova, 2015). Za svako otkriveno oštećenje sluha, utvrđuje se njegova vrsta, mjesto i stupanj te svojstva slušanja (Bumber *et al.*, 2004), i propisuje se odgovarajuća terapija i slušno pomagalo.

Ostatak rada organiziran je na sljedeći način. Pregled literature koja se bavi tretmanom stečenih oštećenja sluha i tretmanom tinitusa prikazan je u 2. poglavlju. Navedeno poglavlje završava doprinosima izrađenog programa Audiovježbe rehabilitaciji slušanja i ublažavanju tinitusa za govornike hrvatskog jezika. Karakteristike govornog i glazbenog materijala korištenog u programu Audiovježbe opisane su u Poglavlju 3, dok je njegovo sučelje prikazano u 4. poglavlju. U zadnjem, Poglavlju 5, predložena su potencijalna područja primjene izrađenog programa te smjer u kojem se isti dalje planira razvijati.

2. PREGLED LITERATURE

U ovom poglavlju dan je pregled suvremenih terapija koje se koriste kod stečenih oštećenja sluha te terapija zvukom koje imaju za cilj smanjenje negativnog utjecaja tinitusa na svakodnevno funkcioniranje njime zahvaćenog pojedinca. Poglavlje završava doprinosima izrađenog programa Audiovježbe postupku rehabilitacije slušanja i terapiji tinitusa zvukom na hrvatskom govornom području.

2.1 Terapije za stečena oštećenja sluha

Gubitak sluha direktno utječe na društveno i emocionalno funkcioniranje pogođene osobe, a rehabilitacija je dugotrajna i složena stoga, prema Bess i Humes (2003), savjetovanje ima centralnu ulogu i treba ga provoditi prije i poslije propisivanja slušnog pomagala. Autori preporučuju informiranje pacijenta o stupnju slušnog oštećenja te o načinu korištenja slušnog pomagala i očekivanim ishodima, a ističu da se i članove obitelji treba uključiti u savjetovanje u slučajevima kada se utvrdi da imaju pogrešne stavove o osobama s gubitkom sluha. S njihovim pristupom savjetovanju slažu se Bonetti *et al.* (2017), koji ističu potrebu za holističkim interdisciplinarnim pristupom kako bi se minimalizirali negativni psihosocijalni učinci i poboljšala kvaliteta života te navode uspješan primjer timskog savjetovanja novih korisnika slušnih pomagala provedenog kroz projekt "Ostanite uključeni!" i njegove nastavke.

Bess i Humes (2003) predlažu dva pristupa kod pojedinaca koji prvi put dobivaju slušno pomagalo: trening čitanja s usana i slušni trening. Slušnim treningom uči se tumačiti slušna iskustva nakon stečenog oštećenja te uočavati razlike između slušnih podražaja (Bonetti *et al.*, 2017), dok praćenje vizualnih tragova s lica i usana predstavlja nadopunu slušanju. Sama rehabilitacija slušnim treningom ima hijerarhijski tijek gdje se prvo detektiraju zvukovi i riječi, potom razlikuju i na kraju isti prepoznaju, a konačni cilj je razviti učinkovito prepoznavanje zvukova i riječi u otvorenim setovima (Bess i Humes, 2003).

U Kliničkom bolničkom centru Rijeka, pacijenti s kohlearnim implantatom te pacijenti koji se s teškoćom prilagođavaju na digitalno zaušno pomagalo imaju mogućnost rehabilitacije slušanja

po verbotonalnoj (VT) metodi Petra Guberine. Tijekom rehabilitacije slušanja odraslih osoba, u ovisnosti o detektiranoj vrsti, mjestu i stupnju oštećenja, koriste se različite vrste slušnih pomagala. Po potrebi mogu se koristiti i specijalni rehabilitacijski aparati, npr. VERBOTON modeli (VERBOTON, 2023), koji olakšavaju prihvaćanje slušnog pomagala kod osoba koje ga dobivaju prvi put. Prema Guberini (1965), za svaki glas, a stoga i svaku riječ, može se identificirati frekvencijsko područje na kojem se postiže njegova optimalna razumljivost. To njegovo otkriće našlo je svoju primjenu u VT metodi, gdje se prije same rehabilitacije utvrđuje optimalno slušno polje – područje frekvencija u kojem osoba postiže najbolje razlikovanje i prepoznavanje riječi pri najmanjem naporu, a koje može biti diskontinuirano, visoko ili nisko (Guberina, 2010). Tijekom rehabilitacije se pomoću VERBOTON aparata i slušnih pomagala pokušava postići najbolji mogući transfer odnosno percepcija u tom optimalnom slušnom polju, pri čemu se izbor leksičkog materijala za vježbe planira u skladu sa slušnim statusom pacijenta. Rehabilitacija slušanja po VT metodi najčešće se sastoji iz sljedećih faza:

1. detektiranje i razlikovanje zvukova u otvorenom i zatvorenom prostoru,
2. razlikovanje zvukova po dužini, glasnoći i visini,
3. prepoznavanje riječi iz zatvorenih skupova unaprijed poznate kategorije (članovi obitelji, domaće životinje, voće, dani u tjednu, brojevi, fraze i sl.),
4. prepoznavanje rečenica koje su jasno i jednostavno strukturirane uz unaprijed poznatu temu,
5. prepoznavanje riječi iz otvorenih lista koje su sastavljene po kriteriju frekvencijske visine glasova,
6. prepoznavanje rečenica iz otvorenih lista koje su sastavljene po kriteriju frekvencijske visine glasova,
7. razumijevanje čitanog kraćeg teksta uz unaprijed poznatu temu (vremenska prognoza, sportske vijesti, kulinarski recepti i sl.),
8. razumijevanje čitanog teksta o nepoznatoj temi.

Vrlo slične faze rehabilitacije slušanja provode se i na drugim ustanovama u svijetu (Sorkin, 2022; Zombek i Sorkin, 2022; ASHA, 2022). Rehabilitacijski postupak se u pravilu zaključuje s osmom fazom. Određeni broj pacijenta kasnije samostalno uspješno razvije i izrazito dobro slušanje i razumijevanje govora preko telefona, koje je vrlo zahtjevno zbog ograničenog frekvencijskog raspona koji se koristi za prijenos signala govora (Martin, 2021).

Sweetow i Palmer (2005) u svom preglednom radu o učinkovitosti rehabilitacije slušanja u odraslih osoba preporučuju upotrebu računalnih programa namijenjenih rehabilitaciji kao financijski i vremenski ekonomičnijoj alternativi rehabilitaciji u kliničkom okruženju. U današnje vrijeme, na tržištu je prisutan već značajan broj računalnih programa s tom namjenom (Tuz *et al.*, 2021; Sato *et al.*, 2020). Stropahl *et al.* (2020) daju pregled različitih vrsta desktop i mobilnih programa za slušni trening - programa razabirljivosti glasova, riječi ili rečenica, glazbenih treninga te treninga slušne pažnje za odrasle osobe sa srednjim ili teškim gubitkom sluha, sa ili bez slušnih pomagala. Zaključuju da su navedeni programi korisni i naročito pomažu u kombinaciji sa slušnim pomaglima

ili kao potpora konvencionalnoj rehabilitaciji slušanja, no ostavljaju otvorenim pitanje potrebne učestalosti korištenja programa i trajanja treninga.

2. 2 Terapije za tinitus

Budući da mehanizmi njegovog nastanka i održavanja još uvijek nisu identificirani, za tinitus trenutno ne postoji lijek. Kako bi se pokušao ublažiti njegov negativan utjecaj na funkcioniranje pojedinca, razvijeni su mnogobrojni oblici terapija od kojih je među najstarijima terapija zvukom. Pod tom sintagmom definira se upotreba zvuka vanjskog izvora u bilo kojoj njegovoj formi kako bi se promijenila percepcija tinitusa ili reakcija na njega (Tunkel *et al.*, 2014). Iako ovaj oblik terapije ne može izliječiti tinitus, može u znatnoj mjeri ublažiti njegove negativne posljedice na svakodnevnu komunikaciju i psihičko funkcioniranje. Terapijom se, u prvom redu, pokušava postići habituacija - adaptacijski proces slušnog sustava kojim se tinitus reklasificira kao ponavljajući zvučni podražaj koji je nebitan i stoga na njega ne treba svjesno obraćati pozornost (Kutyba *et al.*, 2022; Tunkel *et al.*, 2014).

Jedan od češće korištenih pristupa unutar širokog spektra predloženih metoda za terapiju zvukom jest maskiranje. To je pristup kod kojeg se tinitus pokušava prekriti zvukom vanjskog izvora poput bijelog šuma ili glazbe, kako bi se smanjila osjetljivost na njega. Osim svoje primarne zadaće, omogućavanja lakšeg sporazumijevanja osobama s gubitkom sluha, slušna pomagala ujedno djelomično ili u potpunosti maskiraju tinitus pojačanjem zvukova iz okoline. Isto tako, mogu imati i ugrađenu dodatnu mogućnost maskiranja pomoću glazbe ili bijelog šuma za periode kad u okolini korisnika slušnog pomagala ne postoje aktivni izvori zvučnih podražaja (Wang *et al.*, 2020; Sherlock i Eisenman, 2020; Hobson *et al.*, 2012). Intenzitet zvuka pri terapiji maskiranjem nije strogo određen – mogu se koristiti maskirajući zvukovi u jačini tinitusa ili zvukovi malo slabijeg intenziteta (Wang *et al.*, 2020).

U svom preglednom radu, Wang *et al.* (2020) analizirali su rezultate 43 istraživanja terapija zvukom za odrasle osobe s kroničnim tinitusom. *Pitch-matched* terapiju zvukom, u kojoj se tinitus maskira pojačanim intenzitetom terapijskog zvučnog materijala na frekvenciji tinitusa, smatraju relativno nepouzdanom metodom za tretman budući da dobiveni rezultati variraju između istraživanja (Mahboubi *et al.*, 2017; Vanneste *et al.*, 2013), dok za Okamoto *et al.* (2010) *Tailor-made notched music training* (TMNMT) terapiju utvrđuju da ima efekt u usporedbi s placebo, no da je potrebno još provesti dodatna istraživanja kako bi se odredilo minimalno potrebno trajanje tretmana.

Okamoto *et al.* (2010) polaze od neurofizioloških istraživanja čiji rezultati upućuju na moguću mehanizam nastanka tinitusa – pogrešnu reorganizaciju struktura slušne kore koje su zadužene za obradu frekvencije na kojoj zahvaćeni pojedinac percipira tinitus. Budući da se dopamin, molekula koja podržava kortikalnu reorganizaciju, luči prilikom slušanja omiljene glazbe, osmislili su TMNMT terapiju u kojoj korisnik svakodnevno sluša oktavno pojasno-nepropusno filtriranu glazbu s centrom filtra na identificiranoj frekvenciji tinitusa. U istraživanju provedenom nad pacijentima s kroničnim tonskim jednostranim tinitusom, zabilježili su statistički značajno smanjenje percipirane jačine tinitusa u grupi koja je filtriranu glazbu slušala godinu dana, a pozitivni rezultati potvrđeni su

i objektivnim pretragama, dok takvi rezultati nisu zabilježeni u grupi koja je slušala placebo glazbu kao ni u kontrolnoj grupi.

Temeljem uspjeha ove metode, Stein *et al.* (2016) ponovili su eksperiment koristeći TMNMT uz određene izmjene. U svom istraživanju, smanjili su širinu nepropusnog područja filtra na pola oktave te uveli pojačanje amplitude signala za frekvencije uz njegov rub. Studija je uključila ispitanike s kroničnim tonskim tinitusom koji su proveli period od 3 mjeseca u tretmanu. Mjesec dana nakon završetka terapije, uočeno je smanjenje jačine tinitusa u TMNMT grupi u odnosu na kontrolnu, iako ispod razine statističke značajnosti. Autori pretpostavljaju da bi se statistički značajni rezultati ostvarili uz duže trajanje terapije.

Kako bi se minimizirala mogućnost evociranja negativnih sjećanja glazbom te smanjila njezina repetitivnost, odnosno monotonija terapije, Chen *et al.* (2020) predložili su metodu za automatsko generiranje glazbe neograničenog trajanja. Metoda koristi *Long Short-Term Memory* (LSTM) neuralnu mrežu te, za razliku od prethodno predloženih sintetizatora, ne iskazuje mane poput promjene visine tona ili njegovog predugog trajanja. Preliminarni rezultati upotrebe na ovaj način generirane glazbe u kombinaciji sa savjetovanjem pokazali su statistički značajno smanjenje negativnog utjecaja tinitusa na život (Chen *et al.*, 2021) mjereno pomoću *Tinnitus Handicap Inventory* (THI) upitnika za samoprocjenu. Isti je sastavljen od 25 čestica organiziranih u tri dijela: 1. funkcionalni, u kojem se ispituju ograničenja u području mentalnog, društvenog i fizičkog funkcioniranja, 2. emocionalni, koji se bavi emocijama koje se javljaju kao odgovor na tinitus, te 3. katastrofični, koji ispituje snažne reakcije na tinitus poput gubitka kontrole ili straha od teške bolesti (Newman *et al.*, 1996).

Kroz proteklih desetak godina predložen je i velik broj novih terapija zvukom u obliku mobilnih i desktop programa (Nagaraj i Prabhu, 2020). Rezultati preliminarnog ispitivanja učinka programa za mobilne uređaje u kojem je terapija zvukom kombinirana s kognitivno-bihevioralnom terapijom pokazali su da isti ima dobar potencijal (Abouzari *et al.*, 2021). Do sličnog su zaključka u svojem istraživanju došli i Kutyba *et al.* (2022). Koristili su postojeći program za mobilne uređaje *ReSound Tinnitus Relief* koji korisnicima omogućava slušanje zvukova različitih karakteristika, kao što su zvukovi iz okoline, glazba i šum, kako bi ispitali može li doći do habituacije na tinitus. Rezultati su pokazali klinički značajno smanjenje težine tinitusa mjereno instrumentima THI i *Tinnitus Functional Index* (TFI), upitnikom dužine 25 čestica za mjerenje stupnja i utjecaja tinitusa na svakodnevno psihosocijalno funkcioniranje samoprocjenom (Meikle *et al.*, 2012), u nešto više od 50 posto pacijenata nakon 6 mjeseci korištenja programa.

2.3 Doprinosi rada

Unatoč tome što gubitak sluha i tinitus, sami ili u kombinaciji, svakodnevno uzrokuju značajne probleme u mnogim segmentima života zahvaćenih odraslih osoba, besplatni računalni programi za terapiju generalno su slabo dostupni, pogotovo za jezike s malim brojem izvornih govornika. Konkretno, na području Republike Hrvatske dosad je izrađen samo jedan program koji je omogućavao tretman tinitusa glazbom – *TinnitusOFF* (2016), no isti danas više nije dostupan. Program je imao sučelje na engleskom jeziku, a njegovo korištenje se naplaćivalo. Situacija je još

nepovoljnija što se tiče rehabilitacije slušanja - dosad nije izrađen niti jedan računalni program, ni besplatni ni s naplatom korištenja, koji bi bio namijenjen rehabilitaciji slušanja za govornike hrvatskog jezika sa stečenim oštećenjem sluha.

Kako bi se riješio uočeni problem nedostatka terapija sa znanstveno potvrđenim učinkom za hrvatsko govorno područje, izrađen je i u ovom radu prikazan računalni program Audiovježbe - program za vježbe slušanja i terapiju tinitusa sa sučeljem na hrvatskom jeziku. Prvi dio programa posvećen je vježbama slušanja za odrasle osobe sa stečenim oštećenjem sluha, s govornim materijalom na hrvatskom jeziku koji je snimljen za potrebe programa. Navedene vježbe slušanja, usklađene s VT metodom, mogu poslužiti kao nadopuna standardnim audiorehabilitacijskim postupcima kod osoba s blagim ili srednjim oštećenjem sluha kojima je propisano digitalno zaušno slušno pomagalo u slučaju da nisu u mogućnosti redovito dolaziti na audiorehabilitacijski tretman. Isto tako, ove vježbe mogu biti od pomoći i osobama s kohlearnim implantatom u kasnijim fazama audiorehabilitacije, no uz obavezno redovito praćenje od strane fonetičara rehabilitatora.

Drugi dio programa posvećen je terapiji tinitusa glazbom temeljenoj na TMNMT pristupu znanstveno potvrđenog učinka (Wang *et al.*, 2020; Okamoto *et al.*, 2010). Kako bi se uzele u obzir i individualne preferencije korisnika programa kojima je dijagnosticiran tinitus, uključeno je pet različitih žanrova glazbe za terapiju.

3. SLUŠNI MATERIJAL

U ovome poglavlju opisane su karakteristike govornog materijala snimljenog za potrebe izrađenog programa i glazbenog materijala korištenog za terapiju tinitusa zvukom te prikazani pripadajući prosječni spektri zvučnih zapisa.

3.1 Vježbe slušanja

Dio programa posvećen rehabilitaciji slušanja sadrži dvanaest kratkih slušnih vježbi u kojima se polazi od jednostavnijih slušnih zadataka prema zahtjevnijima. Svi korišteni govorni materijali su snimljeni u zvučno izoliranoj prostoriji pomoću LingWaves sustava (WEVOSYS, 2022) uz frekvenciju uzorkovanja od 22.050 Hz, te potom obrađeni u programu Praat (Boersma i Weenink, 2021) i pohranjeni u wav formatu. Materijal čita osoba ženskog spola s glasom prosječne visine 205 Hz i prosječne jačine 71 dB.

Prvih pet vježbi čine setovi s deset zadataka s leksičkim materijalom zadanim prema određenoj kategoriji, u kojima je potrebno razlikovati slušani materijal unutar zatvorenog seta riječi odnosno rečenica. S obzirom na to da se u ovim vježbama u slučaju poteškoća u rješavanju zadataka slušatelj uvijek može osloniti na kontekst, iste se ne smatraju zahtjevnima. Ukupno trajanje snimljenog materijala za navedene vježbe prikazano je u Tablici 1.

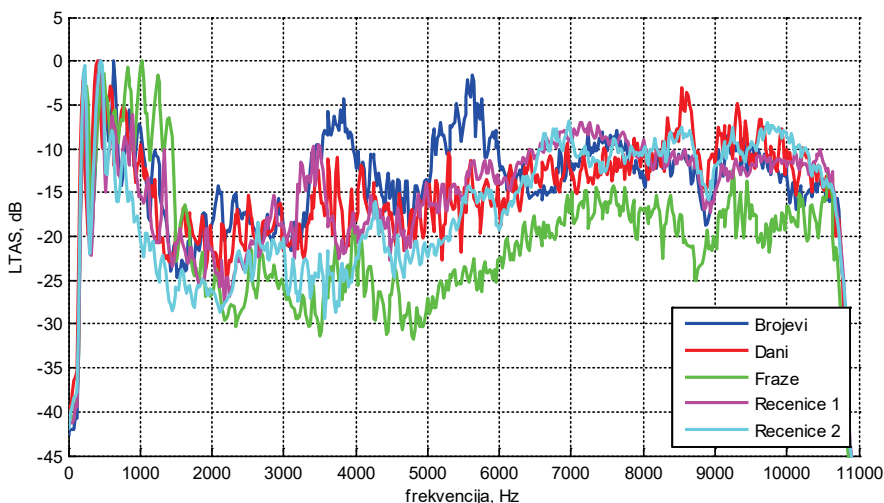
Tablica 1. Ukupno trajanje snimljenog govornog materijala po vježbama

R. br. vježbe	Naziv vježbe	Tip materijala	Ukupno trajanje snimki, s
1.	Brojevi	riječi	11,28
2.	Dani	riječi	10,60
3.	Fraze	rečenice	14,20
4.	Rečenice 1	rečenice	30,48
5.	Rečenice 2	rečenice	17,88
6.	Test 1	rečenice	24,60
7.	Test 2	riječi	14,43
8.	Test 3	riječi	14,95
9.	Test 4	riječi	15,13
10.	Test 5	riječi	15,00
11.	Veliki test 1	riječi	29,69
12.	Veliki test 2	rečenice	47,00

Izvor: autori

Na Slici 1 prikazan je prosječni spektar (engl. *long-term average spectrum, LTAS*) (Rose, 2002) za govorni materijal korišten u prvih pet vježbi slušanja dobiven upotrebom vremenskog otvora trajanja 50 ms uz Hammingov prozor te preklapanje od 75 %. Govorni materijal vježbe *Brojevi* sadrži nešto više energije u području od 3,5 do 6 kHz, dok materijal vježbe *Fraze* sadrži više energije u području oko 1 kHz od materijala drugih vježbi, a manje na svim frekvencijama od 2 kHz naviše, no, generalno gledano, može se primijetiti da su distribucije zvučne energije kroz frekvencije za prvih pet vježbi slušanja prilično ujednačene.

Slika 1. Prosječni spektar (LTAS) govornog materijala prvih pet vježbi slušanja



Izvor: autori

Sljedećih pet slušnih vježbi su vježbe prepoznavanja riječi i rečenica iz otvorenih lista, gdje svaka lista, odnosno vježba, sadrži po dvije riječi ili rečenice zasićene:

- niskofrekventnim glasovima,
- niskofrekventnim i srednjefrekventnim glasovima,
- srednjefrekventnim glasovima,
- srednjefrekventnim i visokofrekventnim glasovima,
- visokofrekventnim glasovima.

Navedene frekvencijske karakteristike, poznatije kao optimalne slušanja, utvrđene su za glasove hrvatskog jezika u ispitivanjima provedenim na ispitanicima urednog prosječnog praga sluha (Rulenkova, 2015). Posljednje dvije slušne vježbe također sadrže riječi odnosno rečenice odabrane prema kriteriju visine, no duže su od prethodnih vježbi – sadrže po 20 zadataka.

Ukupno trajanje snimljenog materijala za ovih sedam vježbi prikazano je u Tablici 1. Budući da se u ovim vježbama ispituje slušno prepoznavanje materijala prema visini, ponuđeni odgovori pretežno sadrže glasovno slične riječi i rečenice. U Tablici 2 dan je primjer točnog i ostala tri, netočna, ponuđena odgovora za sve zadatke iz desete vježbe slušanja (*Test 5*).

Tablica 2. Ponuđeni odgovori u zadacima desete vježbe slušanja (*Test 5*)

Točan odgovor	Ostali ponuđeni odgovori
kum	kuma, um, put
vuk	kum, zec, muk
lov	lav, lom, bol
vol	val, vonj, dol
rak	rat, jak, lak
dom	bon, bod, dol
čaj	jaje, šal, šank
đak	jak, žal, štap
zec	peć, vuk, šest
peć	teći, meč, pet

Izvor: autori

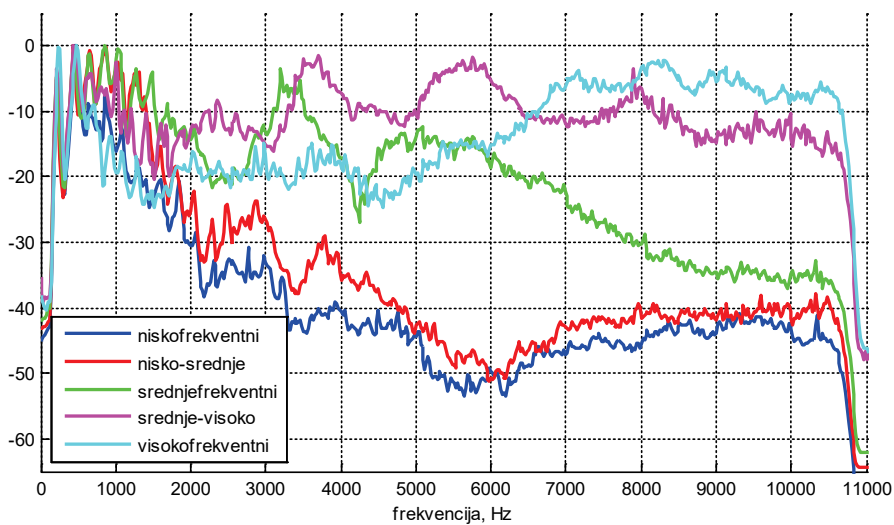
Na Slici 2 prikazan je prosječni spektar za snimke riječi korištene u vježbama *Test 2* do *Test 5* i *Veliki test 1* razdijeljene po kriteriju frekvencijske visine glasova koje sadrže. Jasno je uočljiva razlika u distribuciji energije po frekvencijama za pet kategorija riječi – frekvencije vrhova LTAS-a rastu, počevši od niskofrekventnih, preko srednjefrekventnih do kategorije riječi s visokofrekventnim glasovima.

Na kraju, na Slici 3 prikazan je LTAS snimki rečenica korištenih u vježbama *Test 1* i *Veliki test 2* koje su razdijeljene po kriteriju frekvencijske visine glasova koje sadrže. Prosječni spektri svih

pet kategorija rečenica poklapaju se do otprilike 2 kHz, nakon čega dolazi do razilaženja u distribucijama. Naglašenija je razlika između spektra rečenica s niskofrekventnim te onih s nisko- i srednjefrekventnim glasovima od one zamijećene za riječi. Kao i na Slici 2, srednjefrekventni glasovi dostižu vrh oko 3 kHz, dok visokofrekventni glasovi dostižu maksimum za frekvencije iznad 6,5 kHz.

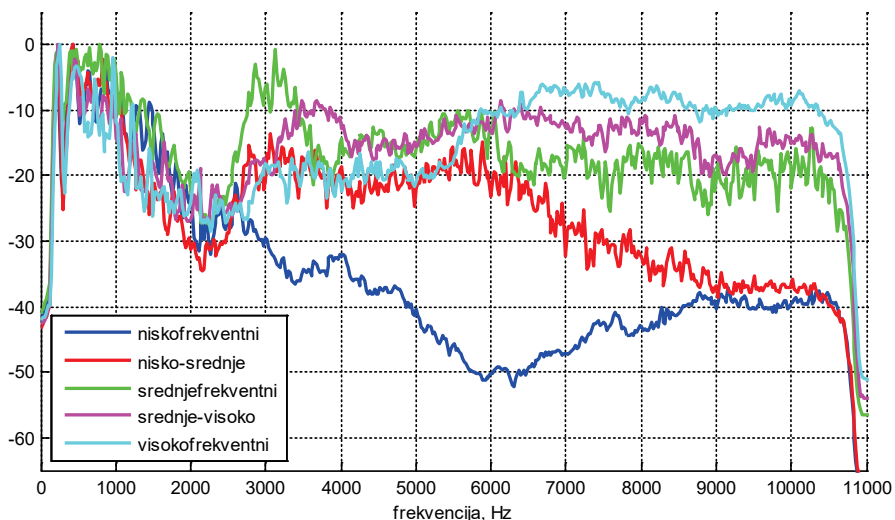
Očekujemo da će korisnici programa s blagim ili srednjim gubitkom sluha koji ne koriste slušno pomagalo s lakoćom riješiti zadatke u prvih pet vježbi, dok bi im zadaci u preostalih sedam vježbi u kojima se ispituje razabirljivost izoliranih riječi i nepovezanih rečenica odabranih prema kriteriju frekvencijske visine mogli predstavljati izazov zbog suženog slušnog polja. S druge strane, bez obzira na jačinu reprodukcije zvuka, očekujemo da će rezultati vježbi razabirljivosti izoliranih riječi i nepovezanih rečenica kod osoba sa značajnim gubitkom sluha koje ne koriste slušno pomagalo biti znatno lošiji, a moguće je da će se pojaviti teškoće razabiranja i u prvih pet vježbi.

Slika 2. Prosječni spektar (LTAS) snimki riječi razdijeljenih po kriteriju frekvencijske visine glasova koje sadrže



Izvor: autori

Slika 3. Prosječni spektar (LTAS) snimki rečenica razdijeljenih po kriteriju frekvencijske visine glasova koje sadrže



Izvor: autori

3. 2 Terapija za tinitus

Za uspješnu primjenu TMNMT terapije glazbom, nužno je prvo odrediti frekvenciju na kojoj zahvaćena osoba percipira tinitus. Kako se radi o vrlo velikom rasponu mogućih vrijednosti – tinitus se najčešće pojavljuje na frekvencijama iznad 2 kHz (Ueberfuhr *et al.*, 2017), odlučeno je kao reprezentativne frekvencije tonskog tinitusa odabrati frekvencije koje su međusobno udaljene trećinu oktave, u skladu s logaritamskim karakteristikama tonotopne organizacije pužnice ljudskog uha (Pinel, 2002). Sukladno navedenom, u programu Praat generirani su čisti, tj. sinusni tonovi trajanja 5 sekundi i frekvencije 2.000, 2.500, 3.150, 4.000, 5.000, 6.300, 8.000 i 10.000 Hz uz frekvenciju uzorkovanja od 44.100 Hz te pohranjeni u wav formatu.

Za terapiju zvukom odabrana je instrumentalna glazba pet različitih žanrova (pop, rock, elektro, klasična i *old time*) s ciljem pokrivanja različitih glazbenih ukusa i trenutnih raspoloženja korisnika (Searchfield *et al.*, 2017) te smanjenja monotonije terapije. Svi korišteni glazbeni materijali pohranjeni su u wav formatu s frekvencijom uzorkovanja od 44.100 Hz, a preuzeti su s mrežne stranice www.freemusicarchive.org koja omogućava korištenje glazbe bez naknade pod *Creative Commons* (CC) BY-NC 4.0 verzijom licence. Broj skladbi te ukupno trajanje glazbenih materijala po žanru prikazano je u Tablici 3.

Tablica 3. Broj skladbi te ukupno trajanje glazbenih materijala po žanru

Žanr glazbe	Broj skladbi	Ukupno trajanje glazbenog materijala, min
pop	9	29,00
rock	13	40,52
elektro	8	31,39
klasična	12	40,43
old time	7	33,29

Izvor: autori

Sam postupak filtriranja glazbe oktavnim pojasno-nepropusnim filtrima sastojao se od nekoliko koraka. Za prethodno navedene frekvencije tinitusa u rasponu od 2 do 10 kHz, koje predstavljaju centralne frekvencije (f_c) oktavnih filtara, prvo su izračunate pripadajuće donje frekvencije (f_d) i gornje frekvencije (f_g) filtara prema formulama:

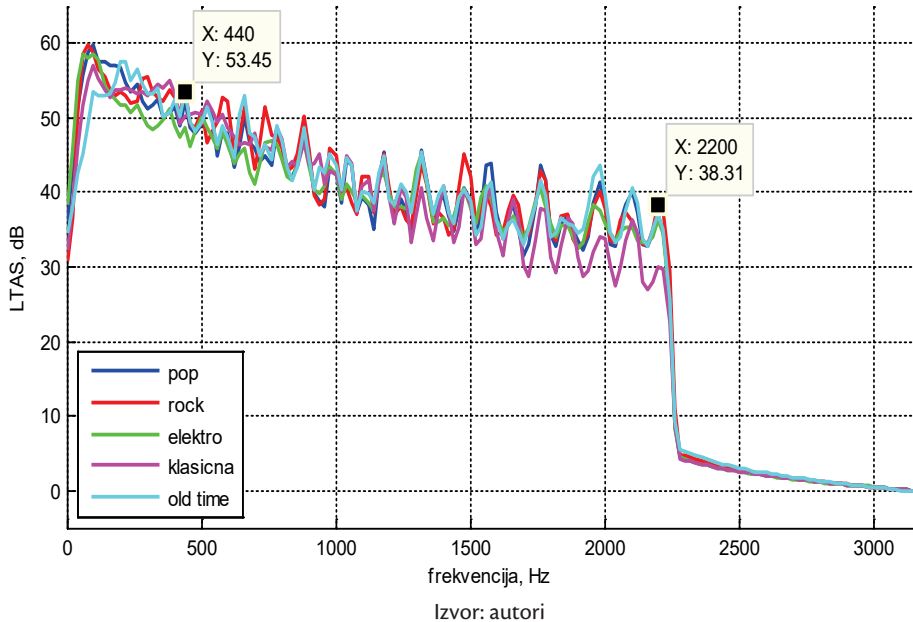
$$f_d = \frac{f_c}{\sqrt{2}} \quad \text{i} \quad f_g = f_c \cdot \sqrt{2}$$

Nakon što su utvrđene vrijednosti donjih i gornjih frekvencija, tj. granica oktavnih filtara, sav glazbeni materijal filtriran je pojasno-nepropusnim filtrima u programu Praat korištenjem funkcije *Filter (stop Hann band)*. Sukladno preporuci Stylera (2022), vrijednost izgladivanja (engl. *smoothing*) je postavljena na 20 Hz. Na prethodno opisani način je za svaku od centralnih frekvencija filtara, odnosno frekvencija tinitusa, kreirana mapa s filtriranom glazbom.

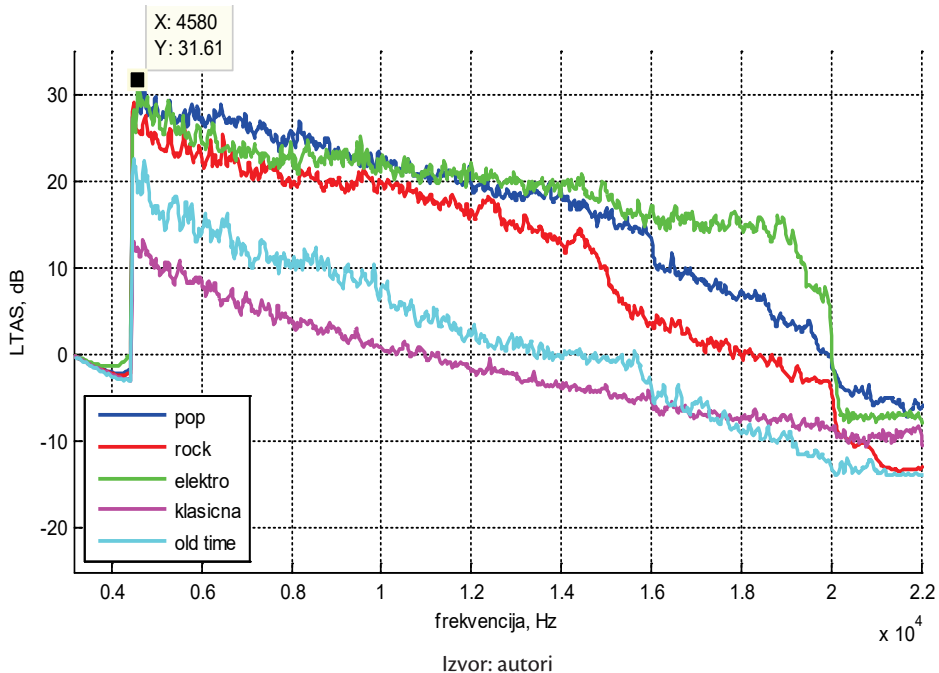
Na Slikama 4 i 5 prikazan je prosječni spektar glazbenog materijala filtriranog oktavnim filtrom centralne frekvencije 3.150 Hz, koji je dobiven za svaki žanr glazbe zasebno upotrebom vremenskog otvora trajanja 50 ms uz Hammingov prozor te preklapanje od 50 %. Na Slici 4 vidljiv je dio LTAS-a za frekvencije od 0 do 3.150 Hz, s vrhovima na frekvencijama tonova glazbene ljestvice zapadne glazbe. Označene su frekvencije tona A4 (440 Hz), koji se koristi za ugađanje instrumenata (ISO 16:1975, 1975), te tona C#7 (2.218 Hz) (Müller, 2021) iznad kojeg se vidi nedostatak akustičke energije zbog primijenjenog pojasno-nepropusnog filtra s donjom granicom od 2.227 Hz. Spektri glazbenih žanrova u ovom frekvencijskom području prilično su ujednačeni. Isto se ne može reći i za područje frekvencija iznad gornje granice oktavnog filtra od 4.455 Hz, prikazano na Slici 5, na kojem postoji znatno razilaženje u distribuciji akustičke energije između žanrova. Najviše energije u ovom frekvencijskom području sadrže pop i elektro glazba, a najmanje klasična glazba te nešto više *old time*.

S obzirom na to da je ljudski slušni sustav najosjetljiviji na, tj. najbolje detektira, tonove frekvencije između 1 i 4 kHz (Müller, 2021; Schnupp, 2012; Berne, 1996), u glazbenom materijalu filtriranom pojasno-nepropusnim filtrima centralnih frekvencija 2.000, 2.500, 3.150 i 4.000 Hz osobe urednog sluha moći će najbolje opaziti efekte filtriranja – filtrirani materijal zvučat će dublje i prigušeno u odnosu na originalni materijal.

Slika 4. Prosječni spektar (LTAS) glazbenog materijala filtriranog oktavnim filtrom centralne frekvencije 3.150 Hz (frekvencije od 0 Hz do 3.150 Hz)



Slika 5. Prosječni spektar (LTAS) glazbenog materijala filtriranog oktavnim filtrom centralne frekvencije 3.150 Hz (frekvencije od 3.150 do 22.000 Hz)



4. PROGRAM

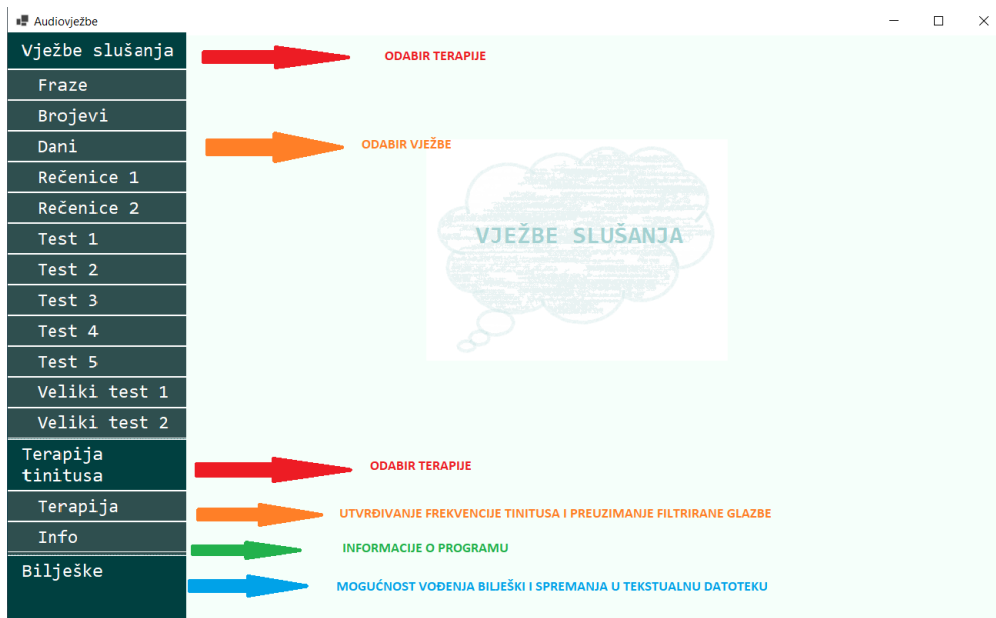
U ovom poglavlju prikazani su glavni dijelovi izrađenog računalnog programa Audiovježbe - programa za vježbe slušanja i terapiju tinitusa (Čulina, 2022; Audiovježbe, 2022). Poglavlje završava s dobivenim povratnim informacijama korisnika prve funkcionalne verzije programa.

4.1 Sučelje programa

Nakon snimanja i obrade govornih materijala te odabira i filtriranja glazbenih materijala, pristupilo se izradi samog računalnog programa. Prikladno nazvan *Audiovježbe*, napisan je u programskom jeziku C# i namijenjen računalima s Windows 7 i Windows 10 operacijskim sustavom. Početni prozor programa sadrži glavni izbornik s tri opcije – *Vježbe slušanja*, *Terapija tinitusa* te *Bilješke*. Klikom na *Vježbe slušanja* odnosno *Terapija tinitusa* otvaraju se pripadajući podizbornici prikazani na Slici 6.

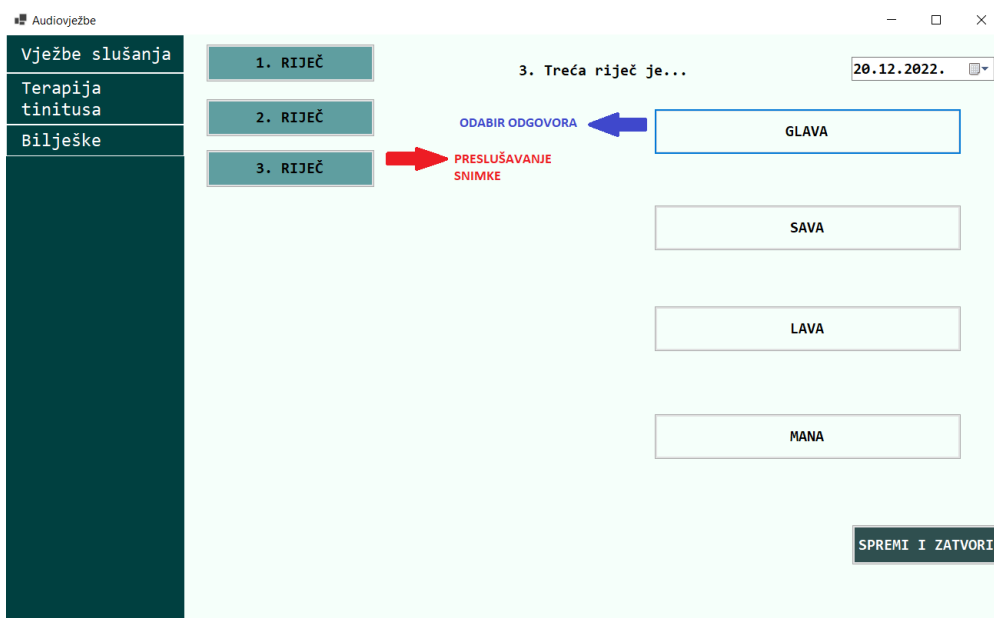
U svakoj od dvanaest slušnih vježbi unutar dijela programa *Vježbe slušanja*, zadatak korisnika je prepoznati zvuk koji čuje. Nakon što je, pritiskom na odgovarajući gumb, poslušao snimku rečenice ili riječi, korisnik odabire jedan od četiri ponuđena odgovora. Kao primjer, na Slici 7 prikazan je izgled prozora programa za vježbu *Test 2* s ponuđenim odgovorima: „glava“, „Sava“, „lava“ i „mana“. U svim vježbama, osim u posljednje dvije (*Veliki test 1* i *Veliki test 2*), pritiskom na gumb rednog broja riječi odnosno rečenice moguće je neograničeni broj puta preslušati snimku prije odabira odgovora.

Slika 6. Prozor programa Audiovježbe s izbornikom i podizbornicima



Izvor: autori

Slika 7. Prozor programa Audiovježbe za vježbu Test 2



Izvor: autori

Prilikom izrade funkcionalnosti programa vezanih uz terapiju glazbom, zbog veličine mapa s filtriranim glazbenim materijalom, bilo je neophodno osloniti se na pohranu u oblaku. Stoga u drugom dijelu programa, *Terapija tinitusa*, korisnik prvo treba identificirati frekvenciju tinitusa pomoću čistih tonova čije je generiranje opisano u poglavlju 3.2, odnosno treba odabrati jednu od ponuđenih frekvencija koja joj je najbliža. Nakon identifikacije frekvencije tinitusa, pritiskom na gumb *Preuzimanje ... kHz* moguće je pristupiti mapi pohranjenoj u oblaku na servisu Mega s glazbom filtriranom odgovarajućim oktavnim filtrom, kao što je prikazano na Slici 8. Za pristup servisu Mega registracija nije potrebna, a preuzimanje glazbenog materijala je besplatno. Osim osnovne mogućnosti preuzimanja glazbe svih pet žanrova, servis omogućava i preuzimanje glazbe pojedinog žanra ili pojedine skladbe.

Treći dio programa, *Bilješke*, prikazan na Slici 9, omogućava korisnicima vođenje dnevnika slušanja unutar programa, s ciljem praćenja njihovog napretka, odnosno utvrđivanja optimalnog načina primjene i trajanja terapije tinitusa te vježbi slušanja.

4.2 Komentari prvih korisnika

Prvi korisnici programa Audiovježbe iskazali su pozitivno mišljenje o programu te naveli da bi ga preporučili i drugim osobama sa stečenim oštećenjem sluha i tinitusom. Kvalitetu audio materijala ocijenili su izvrsnom. Predlažu izradu web ili mobilne verzije programa kako bi se omogućila njegova veća dostupnost.

Slika 8. Prozor programa Audiovježbe za identifikaciju frekvencije tinitusa i preuzimanje odgovarajuće terapije glazbom



Izvor: autori

Slika 9. Prozor programa Audiovježbe za Bilješke



Izvor: autori

5. ZAKLJUČAK

Računalni program Audiovježbe prezentiran u ovom radu, prvi je javno dostupni program za tretman slušanja za govornike hrvatskog jezika sa stečenim oštećenjem sluha. Trenutno je i jedini besplatno dostupni program za terapiju tinitusa glazbom sa sučeljem na hrvatskom jeziku. Program može poslužiti kao dodatak standardnim audiorehabilitacijskim postupcima kod osoba s blagim ili srednjim gubitkom sluha kojima je propisano digitalno zaušno slušno pomagalo te u kasnijim fazama audiorehabilitacije kod osoba s kohlearnim implantatom uz obavezno redovito praćenje napretka od strane audiorehabilitatora.

S obzirom na to da tonska audiometrija, zlatni standard otkrivanja stečenog oštećenja sluha, nije ekonomična pretraga za probir te ne pruža u uvid u utjecaj gubitka sluha na svakodnevno funkcioniranje pojedinca, upitnici samoprocjene slušnog hendikepa pokazali su se korisnim instrumentom za identifikaciju i usmjeravanje prema rehabilitaciji osoba koje bi od nje mogle imati najviše koristi (Bonetti *et al.*, 2017). Stoga vjerujemo da će, osim terapijske uloge, ovaj besplatni program doprinijeti i podizanju svijesti pripadnika opće populacije o važnosti redovitog kontroliranja stanja sluha te im omogućiti objektivniju samoprocjenu slušnog funkcioniranja; loš rezultat mogao bi korisnike programa potaknuti da razmotre odlazak k liječniku i na taj način omogućiti ranije postavljanje dijagnoze, a time i uspješnije liječenje.

Trenutne funkcionalnosti programa Audiovježbe kompromis su između individualizacije terapijskih postupaka i automatizacije procesa. U idućim fazama razvoja programa, planira se obogatiti ponuda zadataka u vježbama slušanja te omogućiti slušanje filtriranih leksičkih materijala, dok se u dijelu programa posvećenom terapiji tinitusa namjerava proširiti izbor glazbenih materijala, omogućiti korisnicima filtriranje vlastite glazbe te generiranje glazbe korištenjem neuralnih mreža. Također, sukladno prijedlogu prvih korisnika programa, izradit će se i njegova mobilna verzija. Osim ovih nadopuna i proširenja funkcionalnosti programa, provest će se i odgovarajuća formalna klinička istraživanja kako bi se ispitao utjecaj vježbi na slušanje odraslih osoba s gubitkom sluha te terapije glazbom na smanjenje negativnog utjecaja tinitusa na svakodnevni život zahvaćenih osoba.

LITERATURA

- Abouzari, M. *et al.* (2021) „Adapting Personal Therapies Using a Mobile Application for Tinnitus Rehabilitation: A Preliminary Study“, *The Annals of Otolaryngology, Rhinology, and Laryngology*, 130(6), pp. 571–577. <https://doi.org/10.1177/0003489420962818>
- ASHA (2022) *Aural Rehabilitation for Adults*, American Speech-Language-Hearing Association <https://www.asha.org/practice-portal/professional-issues/aural-rehabilitation-for-adults/> (pristup 28.11.2022.)
- Audiovježbe (2022) https://mega.nz/file/IFNQSTJT#WBg7gsifBxdkdtII0XOCUEXOOIOQTgcUCFRC_N1srZI (pristup 14.03.2023.)
- Baguley, D., McFerran, D., Hall, D. (2013) „Tinnitus“, *The Lancet*, 382(9904), pp. 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), pp. 1224–1231. <https://doi.org/10.1056/NEJMcp1506631>
- Berne, R. M., Levy, M. N. (1996) *Fiziologija*, Zagreb: Medicinska naklada

- Bess, F. H., Humes, L. E. (2003) *Audiology: The Fundamentals*, Lippincott Williams & Wilkins.
- Boersma, P., Weenink, D. (2021) *Praat: doing phonetics by computer*, Version 6.1.55, Amsterdam, Nizozemska. University of Amsterdam. <https://www.fon.hum.uva.nl/praat/> (pristup 28.10.2021.)
- Bonetti, L., Ratkovski, I., Šimunjak, B. (2017) "Suvremena rehabilitacija odraslih osoba sa stečenim oštećenjem sluha", *Liječ Vjesn*, 139, pp. 292-298.
- Bumber, Ž. et al. (2004) *Otorinolaringologija*, Zagreb: Naklada Ljevak.
- Chen, J. et al. (2020) "An Automatic Method to Develop Music With Music Segment and Long Short Term Memory for Tinnitus Music Therapy", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 141860-141871. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3013339
- Chen, J. et al. (2021) "Investigation on chronic tinnitus efficacy of combination of non-repetitive preferred music and educational counseling: a preliminary study", *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 278(8), pp. 2745-2752. doi: 10.1007/s00405-020-06340-w.
- Čulina, M. (2022) *Program za funkcionalne vježbe slušanja i terapiju tinitusa*, završni rad, Veleučilište u Rijeci <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:125:674929>
- Guberina, P. (2010) *Govor i čovjek: Verbotonalni sistem*, Zagreb: Poliklinika za rehabilitaciju slušanja i govora SUVAG : ArTresor naklada
- Guberina, P. (1965) *Verbo-tonalna metoda u audiologiji*, Zagreb: Zavod za fonetiku
- Hobson, J., Chisholm, E., Refaie, A. E. (2012) „Sound therapy (masking) in the management of tinnitus in adults”, *Cochrane Database of Systematic Reviews*, pp. 11, 1-22. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006371.pub3>
- ISO 16:1975 (1975) *Acoustics — Standard tuning frequency (Standard musical pitch)*, International Organization for Standardization
- Kutyba, J., et al. (2022) „Effectiveness of tinnitus therapy using a mobile application”, *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 279, pp. 1257–1267. <https://doi.org/10.1007/s00405-021-06767-9>
- Lin, F. R. et al. (2013) „Hearing Loss and Cognitive Decline Among Older Adults”, *JAMA Intern Med.*, 173(4), pp. 293-299. doi: 10.1001/jamainternmed.2013.1868
- Mahboubi, H. et al. (2017) „Customized Versus Noncustomized Sound Therapy for Treatment of Tinnitus: A Randomized Crossover Clinical Trial”, *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, 126(10), pp. 681–687. <https://doi.org/10.1177/0003489417725093>
- Mahulja-Stamenković, V. et al. (2005) „Probir novorođenčadi na oštećenje sluha s posebnim osvrtom na rizičnu novorođenčad”, *Medicina*, 42(1), pp. 25–30.
- Martin, P. (2021) *Speech Acoustic Analysis*, John Wiley & Sons.
- Meikle, M.B. et al. (2012) "The tinnitus functional index: development of a new clinical measure for chronic, intrusive tinnitus", *Ear Hear*, 33, pp. 153–176. <https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31822f67c0>
- Müller, M. (2021) *Fundamentals of Music Processing: Using Python and Jupyter Notebooks*, Springer
- Nagaraj, M. K., Prabhu, P. (2020) „Internet/smartphone-based applications for the treatment of tinnitus: A systematic review”, *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 277(3), pp. 649–657. <https://doi.org/10.1007/s00405-019-05743-8>
- Newman, C. W., Jacobson, G. P., Spitzer, J. B. (1996) "Development of the Tinnitus Handicap Inventory", *Archives of Otolaryngology – Head and Neck Surgery*, 122(2), pp. 143–148. <https://doi.org/10.1001/archotol.1996.01890140029007>
- Okamoto, H. et al. (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), pp. 1207–1210. <https://doi.org/10.1073/pnas.0911268107>

- Olujčić Tomazin, M., Bonetti, L. (2022) „Samoprocjena kvalitete života uz kronični tinitus kao prediktor anksioznosti i depresije kod odraslih“. Zbornik sažetaka 6. kongresa hrvatskih logopeda s međunarodnim sudjelovanjem *Izazovi moderne logopedije – perspektiva i iskustva logopeda današnjice*. Zagreb: Hrvatsko logopedsko društvo, pp. 151-152.
- Padovan, I. et al. (1991) *Otorinolaringologija: Za studente medicine i stomatologije*, Zagreb: Školska knjiga
- Padovan, I., Šerčer, A. (1957) *Temelji kliničke audiometrije*, Zagreb: Školska knjiga
- Pinel, J. P. J. (2002) *Biološka psihologija*, Jastrebarsko: Naklada Slap
- Rose, P. (2002) *Forensic Speaker Identification*, United Kingdom: Taylor & Francis
- Rulenkova, L. I. (2015) *Kako malo gluho dijete naučiti slušati i govoriti primjenom verbotonalne metode*, Zagreb: Poliklinika SUVAG
- Sato, T. et al. (2020) „In-home auditory training using audiovisual stimuli on a tablet computer: Feasibility and preliminary results“, *Auris, Nasus, Larynx*, 47(3), pp. 348–352. <https://doi.org/10.1016/j.anl.2019.09.006>
- Schnupp, J., Nelken, I., King, A. J. (2012) *Auditory Neuroscience: Making Sense of Sound*, Cambridge, MA, USA: MIT Press
- Searchfield, G. D., Durai, M., Linford, T. (2017) „A state-of-the-art review: Personalization of tinnitus sound therapy“, *Front. Psychol.*, Vol. 8, pp. 1-11, <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01599>
- Sherlock, L. P., Eisenman, D. J. (2020) „Current Device-based Clinical Treatments for Tinnitus“, *Otolaryngologic Clinics of North America*, 53(4), pp. 627–636. <https://doi.org/10.1016/j.otc.2020.03.010>
- Sorkin, D. (2022) „Tips for Using Rehab Apps to Improve Listening Skills with Cochlear Implants“, *The Hearing Journal*, 75(7), pp. 28-29. doi: 10.1097/01.HJ.0000843284.23653.80
- Stein, A. et al. (2016) „Clinical trial on tonal tinnitus with tailor-made notched music training“, *BMC Neurology*, 16:38, pp.1-7 <https://doi.org/10.1186/s12883-016-0558-7>
- Stropahl, M., Besser, J., Launer, S. (2020) „Auditory Training Supports Auditory Rehabilitation: A State-of-the-Art Review“, *Ear Hear.* 41(4), pp. 697-704. doi: 10.1097/AUD.0000000000000806
- Styler, W. (2022) *Using Praat for Linguistic Research*. University of California San Diego <https://wstyler.ucsd.edu/praat/UsingPraatforLinguisticResearchLatest.pdf> (pristup 22.04.2022.)
- Sweetow, R., Palmer, C.V. (2005) “Efficacy of individual auditory training in adults: a systematic review of the evidence“, *J Am Acad Audiol*, 16(7), pp. 494-504. doi: 10.3766/jaaa.16.7.9.
- TinnitusOFF (2016) *Hrvatska aplikacija: TinnitusOFF rješava problem šuma u uhu*, net.hr, <https://net.hr/tehnoklik/ostalo/hrvatska-aplikacija-tinnitusoff-rjesava-problem-suma-u-uhu-259c4d02-b1d2-11eb-9d32-0242ac140046> (pristup 28.11.2022.)
- Tunkel, D. E. et al. (2014) „Clinical Practice Guideline: Tinnitus“, *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, 151(2_suppl), pp. 1–40. <https://doi.org/10.1177/0194599814545325>
- Tuz, D., Isikhan, S. Y., Yücel, E. (2021) „Developing the computer-based auditory training program for adults with hearing impairment“, *Medical & Biological Engineering & Computing*, 59(1), pp. 175–186. <https://doi.org/10.1007/s11517-020-02298-3>
- Ueberfuhr, M. A, et al. (2017) „Tinnitus in Normal-Hearing Participants after Exposure to Intense Low-Frequency Sound and in Ménière’s Disease Patients“, *Front Neurol*. Vol. 7:239, pp. 1-11. doi: 10.3389/fneur.2016.00239.
- Vanneste, S. et al. (2013) „Does enriched acoustic environment in humans abolish chronic tinnitus clinically and electrophysiologically? A double blind placebo controlled study“, *Hearing Research*, 296, pp. 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2012.10.003>
- VERBOTON (2023), *Petar Guberina i verbotonalna metoda*, <https://www.suvag.hr> (pristup 13.03.2023.)

Wang, H. et al. (2020) „The state of the art of sound therapy for subjective tinnitus in adults“, *Therapeutic Advances in Chronic Disease*, 11, pp. 1-22. <https://doi.org/10.1177/2040622320956426>

WEVOSYS (2022) <https://www.wevosys.com/products/lingwaves/lingwaves.html> (pristup 23.11.2022.)

WHO (2021) *The World Report on Hearing* <https://www.who.int/publications/i/item/9789240020481> (pristup 28.11.2022.)

WHO (2015) *The World Report on Ageing and Health* <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565042> (pristup 28.11.2022.)

Zombek, L., Sorkin, D. (2022) „What is Adult Aural Rehabilitation and Why Pursue It?“, *The Hearing Journal*, 75(12), pp.19-20. doi: 10.1097/01.HJ.0000904500.54955.45



Creative Commons Attribution –
NonCommercial 4.0 International License

Professional paper

<https://doi.org/10.31784/zvr.11.1.18>

Received: 15. 12. 2022.

Accepted: 16. 3. 2023.

AUDIO EXERCISES: A COMPUTER PROGRAM FOR AUDITORY TRAINING AND TINNITUS TREATMENT

Mirta Čulina

Mag. educ. phon. rehab., Hearing therapist, Clinical Hospital Center Rijeka, Krešimirova ul. 42,
51000 Rijeka, Croatia; e-mail: mirtaculina@gmail.com

Andrea Andrijašević

PhD, Lecturer, Polytechnic of Rijeka, Vukovarska 58, 51000 Rijeka, Croatia;
e-mail: andrea.andrijasevic@veleri.hr

ABSTRACT

Hearing loss and tinnitus represent a significant challenge for affected individuals in everyday spoken communication. Hearing difficulties caused by them can be alleviated through different therapeutic approaches, however hearing therapy approaches aimed at hearing improvement in the adult population are not very common in the health sector. In recent years, desktop and mobile applications for the treatment of a variety of health difficulties have shown potential, but unfortunately they are still rarely available at no charge. In this paper, the knowledge in the area of audiology and hearing therapy has been applied in designing a computer program for the Croatian speaking adult population with speech intelligibility difficulties caused by acquired hearing impairment and tonal tinnitus. The types of exercises and their representation have been modelled based on the conventional hearing therapy methods as well as on currently available web, mobile and desktop apps. The program contains twelve listening exercises that differ in their degree of complexity, whose design was guided by the fundamental principles of the verbotonal method. Accordingly, the exercises start with familiar terms before advancing to the unfamiliar ones and with optimal hearing conditions before moving on to the nonoptimal ones. In addition to these exercises, the program offers tonal tinnitus frequency identification and sound therapy for its loudness reduction based on the Tailor-made notched music training (TMNMT) principles. The program can serve as an addition to the conventional hearing therapy for individuals in the later stages of adaptation to hearing aids or cochlear implants, as well as help the non-diagnosed individuals to assess their hearing more objectively and, if necessary, seek professional help.

Key words: hearing loss, tinnitus, rehabilitation, music therapy, computer program

