

Gordana Kovačić*Odjel lektora i spikera Hrvatskoga radija, HRT***Paul Boersma***Institute of Phonetic Sciences, University of Amsterdam, Netherlands***Hrvoje Domitrović***Fakultet elektronike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu*

Spektralne karakteristike klapskoga pjevanja profesionalnih folklornih pjevača

Spectral characteristics of klapa singing performed by professional folk singers

Izvorni znanstveni rad UDK: 81'342.1: 784.4

SAŽETAK

Cilj je istraživanja bio ispitati spektralne karakteristike klapskoga pjevanja, te utvrditi oslanja li se ovaj način pjevanja na *pjevački formant*. Analiziralo se glasove dvanaestorice profesionalnih folklornih pjevača. Svaki je otpjevao dalmatinsku pjesmu *Zaspalo je siročić* u G-duru. Pojedinačne se glasove snimalo digitalno, a analiza dugotrajnoga prosječnog spektra učinjena je u programu *PRAAT*. U obliku spektra pjevača nisu ustanovljena obilježja koja bi upućivala na *pjevački formant*. U području frekvencija 2.2-3.7 kHz uočena su dva vrha (treći i četvrti formant), te oblik spektra koji je sličan obliku spektra govora. U spektrima je nekih pjevača nešto naglašeniji četvrti formant, te ima obilježja *govorničkoga formanta*. Zbog ispitivanja sličnosti klapskoga pjevanja i govora, u istraživanje je naknadno uveden uzorak govornika (N=8). Računalo se i uspoređivalo nagib spektralne ovojnice prema visokim frekvencijama, prosječnu jakost pojaseva širine tisuću herca (1-2 kHz, 2-3 kHz, 3-4 kHz i 4-5 kHz), te parametre *alfa* i *VF* (jakost visokih formanata). Rezultati ovih obrada pokazali su da su spektralne karakteristike klapskoga pjevanja i govora slične. No razlike postoje u jakosti područja frekvencija 2-4 kHz (parametar *VF*). Spektar je klapskoga pjevanja ovdje pojačan, no to pojačanje nema sličnosti s pjevačkim formantom. Zaključuje se da je produkcija klapskoga pjevanja usporediva s produkcijom (kultiviranoga) govora.

Ključne riječi: akustička analiza pjevanoga glasa ▪ operno i folklorno pjevanje ▪ klapa ▪ prosječni dugotrajni spektar (LTAS) ▪ *alfa* ▪ *VF* (jakost visokih formanata) ▪ pjevački formant ▪ govornički formant

ABSTRACT

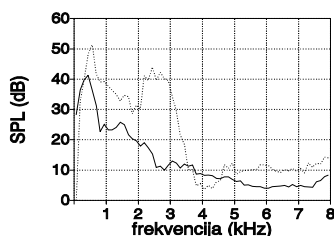
The purpose of this research was to examine the spectral characteristics of *klapa* singing and to show if this type of singing relies on a *singer's formant*. The voices of twelve professional male folk singers were digitally recorded and analysed for long-term average spectrum (LTAS) in the *PRAAT* program. Each singer performed the Dalmatian song *Zaspalo je siročić* in G-major. The LTAS contour showed no evidence of a *singer's formant*. Instead, the averaged LTAS curve with two distinctive peaks between 2.2 kHz and 3.7 kHz (these correspond to the third and fourth formants) turned out to have features quite similar to a speech spectrum. A more pronounced fourth formant in the case of some singers turned out to have the features of a *speaker's formant*. In order to examine the similarities between klapa singing and speech, a sample of speaker subjects (N=8) was subsequently included in the study. The spectral slope and average intensity in the bands 1-2 kHz, 2-3 kHz, 3-4 kHz and 4-5 kHz as well as *alpha* and *VF* (strength of the high formants) parameters were computed and compared. The results showed that spectral characteristics of klapa singing and speaking were comparable. However, the differences were noticeable in intensity levels in 2-4 kHz frequency range (*VF* parameter). In this case the klapa singing spectrum was intensified but there were no sings of the singer's formant. The conclusion is that the production of klapa singing is comparable to that of (trained) speech.

Key words: acoustic analysis of the singing voice ▪ operatic and folk singing ▪ *klapa* (vocal group) ▪ long-term average spectrum (LTAS) ▪ *alpha*, *VF* (strength of the high formants) ▪ singer's formant ▪ speaker's formant

UVOD

Prvi su istraživači glasa bili učitelji pjevanja, glume i retorike. Njihove su metode istraživanja bile subjektivne, tj. temeljile su se na intuiciji, opažanjima i osjećajima vezanim za proizvodnju glasa. U prošlom je stoljeću nagli razvoj moderne tehnologije omogućio znanstveno istraživanje glasa u punom smislu riječi. Započelo se istraživati i pjevani glas, ponajprije opernih umjetnika. Akustičke analize pokazale su da se on umnogome razlikuje od govornoga glasa, pri čemu temeljna razlika jest postojanje specifičnog pojačanja spektra u području viših frekvencija. Wilmer T. Bartholomew to je opisao sljedećim riječima: „...visoki formant u muškim glasovima smješten između približno 2400 i 3200 cps (Hz). ... Generalno govoreći, što je bolji glas, ili glasniji, to je ovaj formant izraženiji.“ (Bartholomew, 1934:27-28)¹. Bitne razlike u obliku spektra govornoga i školovanog pjevanog glasa prikazuje slika 1. Analiziran je prosječni dugotrajni spektar (LTAS) govora i pjevanja mladog muškarca. U LTAS pjevanja jasno se uočava pojačanje koje je opisao Bartholomew (1934). Riječ je o *pjevačkom formantu*. Termin je zaživio zahvaljujući radu Johana Sundberga (1970; 1972; 1973; 1974; 1978), a ustalio se u brojnim kasnijim nezavisnim istraživanjima drugih autora (npr. Hollien, 1983; Seidner i sur., 1983; Schutte i Miller, 1985; Bloothoof i Plomp, 1986).

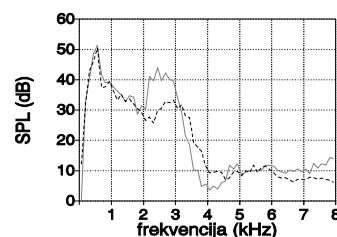
Slika 1. Dugotrajni prosječni spektar govora (crna spektralna ovojnica) i opernoga pjevanja (točkasta spektralna ovojnica), u kojem se jasno ističe pjevački formant u pojasu frekvencija 2-3 kHz (Analiziran je glas profesionalnoga opernoga pjevača.)



Utvrđeno je da središnja frekvencija pjevačkog formanta ovisi prvenstveno o kategoriji glasa (bas, bariton, tenor, alt), te o njegovoj jakosti. Jakost glasa određuje i amplitudu pjevačkog formanta. Slika 2 prikazuje pjevačke formante s različitim središnjim frekvencijama i amplitudama. Razlika u amplitudi odražava spolne razlike, tj. pjevački je formant u spektru ženskog glasa (ovdje alt) uvijek niži u odnosu na bilo koju kategoriju muškog glasa (ovdje tenor). Mezzosopran, a poglavito sopran, ne karakterizira pjevački formant onako kako ga se uobičajeno opisuje. Naime, tonski se rasponi ovih kategorija glasova kreću unutar visokih frekvencija (F_0), kod soprana do 880 Hz i više, pa je broj harmonika čije su frekvencije ugođene s rezonantnim frekvencijama bitno manji nego što je to slučaj kod basa, baritona, tenora ili alta. Zbog toga i nema stanovitog pojačanja u spektru (pjevačkog formanta) kakvo postoji u spektru glasova čiji su tonski rasponi unutar nižih

F_0 , tj. u nižim registrima. Sopranistice „ugađaju“ formante, tj. pomiču prvi formant u okolinu F_0 . Istodobno se mijenja položaj trećeg i četvrtog formanta. Za pjevanje kojem F_0 prelazi 400 Hz, njihova je udaljenost sve veća, što onemogućuje tvorbu pjevačkog formanta koji se formira približavanjem trećeg, četvrtog pa i petog formanta (Sundberg, 1978).

Slika 2. Dugotrajni prosječni spektar opernoga pjevanja tenora (siva spektralna ovojnica) i alta (crna isprekidana spektralna ovojnica). Središnja je frekvencija pjevačkog formanta tenora oko 2.5 kHz, a alta oko 3 kHz. Jakost pjevačkog formanta alta niža je za oko 10 dB



Značajno modernija tehnologija današnjeg vremena omogućuje profinjene akustičke analize u odnosu na one od prije pola stoljeća i više pa se u novije vrijeme akustika pjevanoga glasa izdvojila kao zasebno problemsko područje puno novih izazova. Jedan je od njih analiza neopernoga pjevanja. Uzme li se u obzir praktična vrijednost akustičkih, ali i drugih objektivnih metoda istraživanja pjevanog glasa, tada se istraživanja neopernoga pjevanoga glasa čine ne manje važnima u odnosu na istraživanja opernoga, a dovoljan je razlog i činjenica da je populacija neopernih pjevača daleko brojnija u odnosu na operne. Neoperno pjevanje obuhvaća mnogo različitih glazbeno-stilskih idioma čiji su standardi kvalitete glasa, dakle, vokalne produkcije, različiti. To su *rock*, *jazz*, *blues*, *mjuzikl*, *heavy-metal*, *rhythm-and-blues*, *pop* i dr. Svaka se od tih glazbenih kategorija može manje-više definirati neovisno o međukulturnim razlikama, dok to nije moguće za folklorno pjevanje koje se razlikuje, ne samo od jedne nacionalne zajednice do druge, nego i unutar svake od njih. Stoga ne čudi manji broj istraživanja na polju akustičkih karakteristika folklornoga pjevanoga glasa. Istraživanja neopernoga pjevanja uglavnom su novijeg datuma. Akustički su analizirani različiti načini pjevanja među kojima su *jazz* i *blues* (Thalén i Sundberg, 2001), *mjuzikl* (Thalén i Sundberg, 2001; Stone i sur., 2003), *pop* (Schutte i Miller, 1993; Dostov i sur., 1995; Thalén i Sundberg, 2001; Zangger Borch i Sundberg, 2002), američki *country* (Burns, 1986; Stone i sur., 1999; Cleveland i sur., 2000), *alikevotno pjevanje* (Bloothoof i sur., 1992; Klingholz, 1993; Lindestad i sur., 2001; Van Tongeren, 2002; Grawunder, 2003), estonijsko folklorno pjevanje (Ross, 1992), *ojkanje* (Kovačić i sur., 2004). I ovo se istraživanje pridružuje spomenutom trendu. Cilj je utvrditi spektralne karakteristike klapskoga pjevanja na uzorku profesionalnih folklornih pjevača. Želi se ispitati oslanja li se ovo pjevanje na pjevački formant. Klapsko pjevanje fenomen karakterističan za glazbeno-folklornu tradiciju Dalmacije. Izvodi se višeglasno, uobičajeno u skupini od pet do osam pjevača bez instrumentalne pratnje, pri čemu dominira

¹ prijevod autora

izvođenje ljubavnih pjesama (Bezić, 1979; Čaleta, 1997). (Preporuka je čitateljima članka posjetiti web-stranicu www.fon.hum.uva.nl/paul/CroatianFolkSinging/ na kojoj se nalazi nekoliko primjera klapskoga pjevanja). Literatura na polju akustike folklornoga pjevanog glasa manjeg je opsega, a u nas i o našem folklornom pjevanju, uključujući klapsko pjevanje, gotovo i ne postoji.

METODE

Uzorak ispitanika i prikupljanje podataka

U istraživanju je dobrovoljno sudjelovalo dvanaest profesionalnih folklornih pjevača čija je prosječna dob bila 33 godine, a duljina angažmana u profesionalnom folklornom ansamblu 10 godina (tablica 1). Niti jedan ispitanik nije pohađao studij pjevanja. U vrijeme provođenja ispitivanja pjevači nisu imali problema vezanih za proizvodnju glasa (samoprocjena), što je bio uvjet sudjelovanja u istraživanju.

Podaci potrebni za provođenje istraživanja temeljili su se na prikupljanju uzoraka pjevanog glasa (način pjevanja kao u klapi). Svakog ispitanika snimalo se u gluhoj komori Zavoda za elektroakustiku *Fakulteta za elektrotehniku i računarstvo* Sveučilišta u Zagrebu. Razina buke u komori bila je 19 dB(A). Snimale su se po tri izvedbe izvorne dalmatinske pjesme *Zaspalo je siroče* (v. prilog 1), koju su ispitanici pjevali u istom tonalitetu (G-dur), a po izboru umjetničkog voditelja ansambla. Glasove se snimalo neusmjerenim mikrofonom Behringer ECM 8000. Odabirom je toga tipa mikrofona minimaliziran utjecaj odmicanja ispitanika iz akustičke osi mikrofona, što valja očekivati prilikom interpretacije pjesme. Svi su ispitanici pjevali u stojećem položaju, a udaljenost je usana od mikrofona bila 0.3 m. Signal iz mikrofona pojačan je putem mikrofonskog pretpojačala TOA D-4. Neposredno prije snimanja obavljena je tonska proba kako bi se signal podesio na optimalnu razinu na DAT-uređaju AIWA HD-S200, a i zbog upjevanja ispitanika. Frekvencija je uzorkovanja prilikom snimanja bila 44.1 kHz. Te su snimke kasnije digitalno presnimljene na kompaktne diskove (CD) jer ih se kasnije akustički analiziralo na *Institutu za fonetske znanosti* Sveučilišta u Amsterdamu. Iako je svaki ispitanik zadanu pjesmu otpjevao tri puta, samo je jedna izvedba odabrana za akustičku analizu. Taj su izbor obavili pjevač i prvi autor rada. Kriterij su odabira bili samozadovoljstvo pjevača i autentičnost izvedbe.

Tablica 1. Aritmetička sredina (M), standardna devijacija (SD), minimalna (Min.) i maksimalna vrijednost (Maks.) za kronološku dob i profesionalno bavljenje folklornim pjevanjem (N=12)

VARIJABLA	M	SD	Min.	Maks.
Dob (godina)	32.66	6.12	24.00	45.00
Profesionalno pjevanje (godina)	10.08	4.99	4.00	20.00

Uz uzorka pjevača, u istraživanje je uključen i kontrolni uzorak govornika. Potreba za uključenjem govornika pojavila se naknadno, nakon analize podataka pjevača. U kontrolnom je uzorku bilo osam ispitanika muškog spola čija je prosječna dob bila 37 godina (standardna devijacija 4.53), a kretala se u rasponu od 31 do 45 godina. I ovi su ispitanici tijekom istraživanja bili bez zdravstvenih problema koji bi ometali proizvodnju glasa (samoprocjena). Snimanje se uzoraka govora obavilo pri *Institutu za fonetske znanosti* Sveučilišta u Amsterdamu, u prostoriji koja osigurava kvalitetne uvjete snimanja. Razina buke bila je 25 dB(A). Ispitanici su jednu minutu čitali zadani tekst na materinskom jeziku – hrvatskom. Pritom je korišten neusmjereni mikrofonom Sennheiser MKH 105 koji je od usana bio udaljen 0.3 m, zatim pretpojačalo IFA² i CD-uređaj pomoću kojeg su se uzorci glasova izravno snimali na kompaktni disk (CD), da bi kasnije bili prebačeni u računalo zbog postupka akustičke analize.

Akustička analiza

Analiza dugotrajnog prosječnog spektra (LTAS) obavljena je računalnim programom *PRAAAT*, v. 4.1.2 kojega su autori Paul Boersma i David Weenink s *Instituta za fonetske znanosti* Sveučilišta u Amsterdamu. Analizirale su se frekvencije u rasponu od 0 do 5 kHz. Širina filtera bila je podešena na 125 Hz, a frekvencija uzorkovanja na 44.1 kHz. Za dugotrajne prosječne spektre računalo se regresijske linije za područje frekvencija od 0.6 do 4.0 kHz kako bi se jasno pokazao nagib spektralne ovojnice prema visokim frekvencijama, te pojačanje spektra u području od oko 2.5 do oko 3.0 kHz u kojem se želi ispitati postojanje pjevačkog formanta. Računanje LTAS i pripadajućih regresijskih linija obavilo se za uzorak čitave pjesme koja je trajala prosječno 57.16 sekunda. Za podjednake uzorke govora (60 s) kontrolnog uzorka ispitanika također su izračunati dugotrajni prosječni spektri i regresijske linije. Nadalje, uvedeno je računanje dvaju kvantitativnih parametara: *alfa* (α) i *VF*³. Parametar *alfa* upućuje na napetost vokalnog trakta, odnosno na način fonacije (opušteno foniranje → napeto foniranje). Računalo ga se na način kako su ga definirali Frøkjær-Jensen i Prytz (1976), tj. kao omjer energije u pojasu od 1 do 5 kHz i energije u pojasu od 0 do 1 kHz:

$$\alpha = 10 \log \left(\frac{E_{1-5\text{kHz}}}{E_{0-1\text{kHz}}} \right)$$

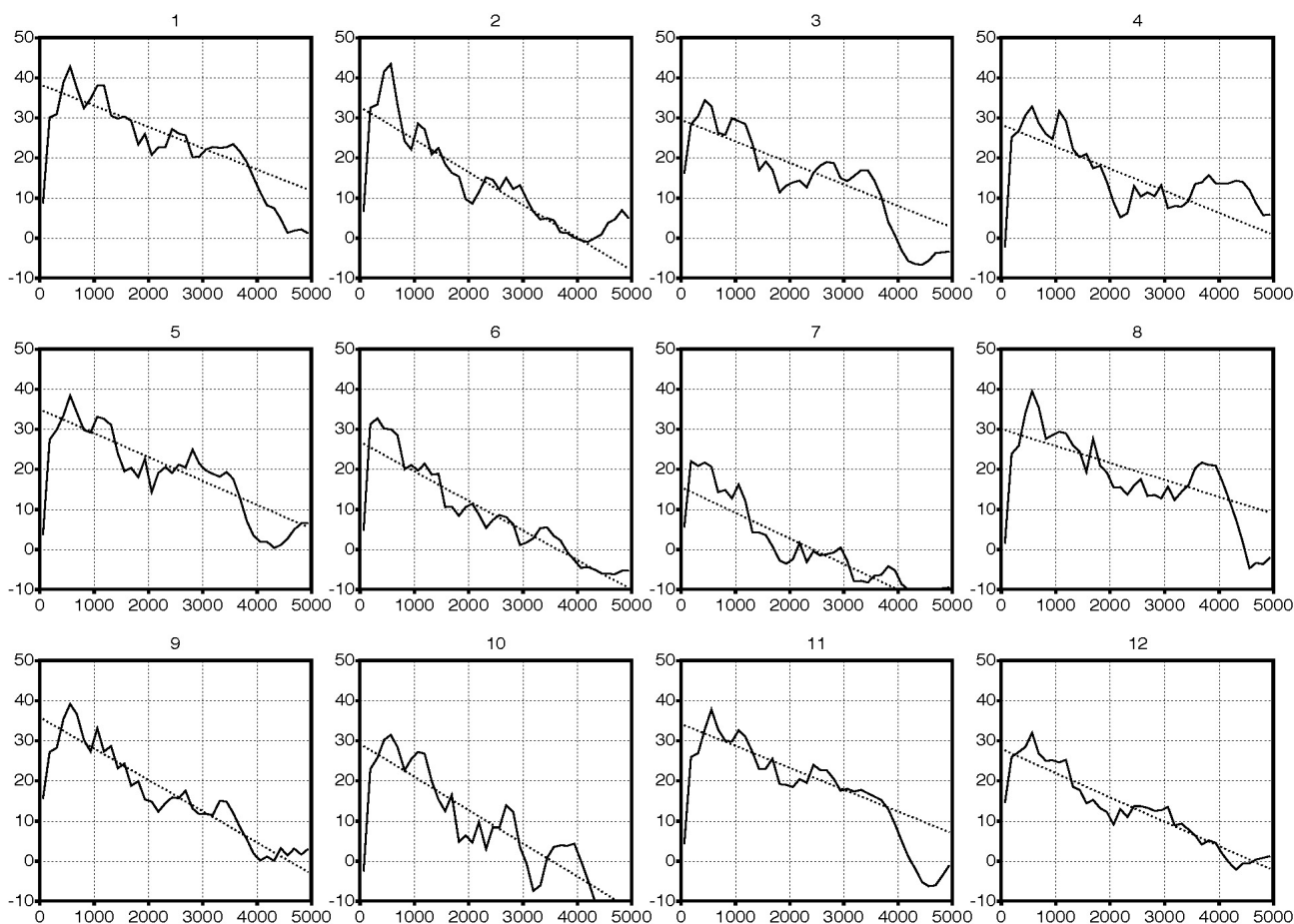
Jakost se visokih formanta, *VF*, uvodi za potrebe istraživanja. Definirana je kao omjer energije u području 2-4 kHz i energije u području frekvencija 0-5 kHz, a računa se prema izrazu:

$$VF = 10 \log \left(\frac{E_{2-4\text{kHz}}}{E_{0-5\text{kHz}}} \right)$$

² Pretpojačalo *IFA* konstruirali su i izradili Ton Wempe i Adriaan van Maanen, inženjeri Instituta u kojem se snimalo glasove kontrolnog uzorka ispitanika.

³ *VF* je skraćenica za jakost visokih formanta, tj. područje frekvencija 2-4 kHz u odnosu na 0-5 kHz.

Slika 3. Dugotrajni prosječni spektri i regresijske linije za klapsko pjevanje dvanaestorice profesionalnih folklornih pjevača (apscisa: frekvencija/kHz, ordinata: SPL/dB)



U navedenom je izrazu raspon 2-4 kHz odabran zato što su u tom pojasu spektralne karakteristike važne za boju glasa, odnosno, tu se nalaze fenomeni i pjevačkoga i govorničkog formanta (za klapsko pjevanje kojega se ovdje ispituje nije postavljena hipoteza o tome kakav se oblik spektra očekuje). Gore naveden matematički izraz za računanje V/F može se primijeniti kadgod postoji potreba za kvantitativnim određenjem pjevačkoga ili govorničkog formanta. Tada se raspon frekvencija 2-4 kHz može suziti, primjerice kada se mjeri jakost pjevačkog formanta (tada u brojniku 2.5-3.5 kHz) ili govorničkog (tada u brojniku 3-4 kHz).

REZULTATI

Eksperimentalni uzorak – klapsko pjevanje

Slika 3 prikazuje dugotrajne prosječne spektre (LTAS) klapskoga pjevanja s pripadajućim regresijskim linijama (u spektrima iscrtkana linija). One jasno pokazuju nagib spektralne ovojnice prema visokim frekvencijama⁴. Najveće je pojačanje spektra u području do oko 1 kHz, području

unutar kojega se nalazi prvi formant (F1).

U višem dijelu spektra, tj. iznad 2.5 kHz, u kojemu se želi ispitati postojanje pjevačkog formanta, uočavaju se spektralni vrhovi koji odgovaraju trećem i četvrtom formantu (F3 i F4). U nekim su spektrima oni jasno izdiferencirani, primjerice kod pjevača 1, 3, 6, 9 i 10. Udaljenost ovih vrhova od regresijske linije uglavnom nije velika, a također su manje izražene njihove amplitude u odnosu na najjači spektralni vrh. Ta razlika uglavnom prelazi 15 dB, a u pojedinim spektrima dostiže, pa i prelazi 20 dB, te je jasno da u spektrima pjevača ne postoje obilježja pjevačkog formanta. Radi usporedbe treba pogledati sliku 4 koja prikazuje spektralni oblik opernog pjevanja i regresijsku liniju izračunatu za područje frekvencija 0.6-4.0 kHz. Područje je pjevačkog formanta dominantni dio spektra, što dodatno potvrđuje njegova udaljenost od regresijske linije. Spomenuti rezultati za klapske pjevače usporedivi su s rezultatima Zanggera Borchia i Sundberga (2002) koji su računali LTAS za petoricu pjevača *pop* glazbe, te istakli nepostojanje pjevačkog formanta, odnosno variranje amplitude spektralne ovojnice oko ± 3 dB u području frekvencija 2.5-4 kHz u kojem su uočena 2-3 spektralna vrha. U spektrima je nekih pjevača područje 2-4 kHz pojačano (pjevači 3, 4, 5, 8, 10), te ima karakteristike tzv. *govorničkog* ili *glumačkog formanta*. Baš kao i pjevački formant, i taj formant predstavlja pojačan dio spektra, no središnja mu je frekvencija viša, a amplituda niža

⁴ Nagib je spektralne ovojnice prema visokim frekvencijama uvijek negativan pa se to u tekstu neće posebno naglašavati.

Tablica 2. Pojedinačne vrijednosti *alfa* i *VF* za govor u dB (kontrolni uzorak, N=8)

Ispitanik	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Alfa</i>	-12.02	-7.72	-10.31	-11.58	-12.92	-14.06	-11.40	-10.20
<i>VF</i>	-19.74	-14.29	-18.65	-20.41	-22.79	-21.25	-17.86	-18.52

Tablica 3. Pojedinačne vrijednosti *alfa* i *VF* za klapsko pjevanje u dB (eksperimentalni uzorak, N=12)

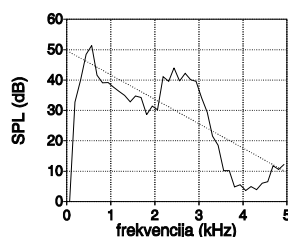
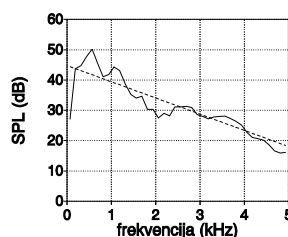
Ispitanik	1	2	3	4	5	6
<i>Alfa</i>	-5.19	-3.32	-6.14	-2.79	-13.50	-5.18
<i>VF</i>	-18.21	-11.30	-14.28	-12.74	-23.63	-12.84
Ispitanik	7	8	9	10	11	12
<i>Alfa</i>	-2.23	-3.13	-11.02	-9.09	-6.10	-6.45
<i>VF</i>	-15.77	-12.00	-20.15	-18.93	-13.79	-18.17

u odnosu na pjevački formant.

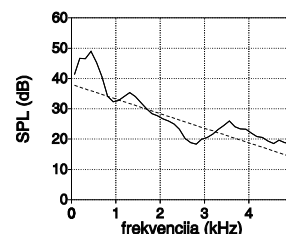
Slika 5 prikazuje dugotrajni prosječni spektar klapskog pjevanja s regresijskom linijom izračunat za svih dvanaest ispitanika. Jasno se ističu spektralni vrhovi na oko 0.6 kHz, 1.2 kHz, 2.5 kHz i 3.5 kHz. Njihov raspored i jakost nalikuju spektru govora.

Kontrolni uzorak – govor

Budući da su rezultati spektralne analize uputili na to da klapsko pjevanje nalikuje govoru, u istraživanje je naknadno uveden uzorak govornika kako bi se to ispitalo. Slika 6 prikazuje prosječni dugotrajni prosječni spektar govora s pripadajućom regresijskom linijom (izračunatom za područje 0.6-4.0 kHz) kontrolnog uzorka ispitanika (pojedinačni su dugotrajni spektri s regresijskim linijama u prilogu 2). Usporedi li se ta slika s prethodnom (slikom 5), uočavaju se sličnosti u obliku spektra klapskoga pjevanja i govora. Razlike pak postoje u području visokih frekvencija, 2-4 kHz.

Slika 4. Dugotrajni prosječni spektar opernog pjevanja i regresijska linija**Slika 5.** Prosječni dugotrajni prosječni spektar klapskoga pjevanja i regresijska linija za uzorak pjevača (N=12)

U spektru govora istaknut je spektralni vrh koji odgovara položaju četvrtog formanta, te antirezonancija na oko 2.8 kHz, dok se u spektru klapskoga pjevanja u istom području frekvencija nalaze dva široka vrha čiji položaj odgovara trećem i četvrtom formantu. Kolika je jakost tih vrhova u odnosu na jakost čitavoga područja frekvencija (0-5 kHz), ispitalo se računanjem parametra *VF*, dok se nagib spektralne ovojnice prema visokim frekvencijama mjerio računanjem parametra *alfa*.

Slika 6. Prosječni dugotrajni prosječni spektar govora i regresijska linija za uzorak govornika (N=8)

Nagib spektralne ovojnice (*alfa*) i jakost visokih formanta (*VF*)

Grafikoni 1 i 2 prikazuju položaj ispitanika kontrolnoga i eksperimentalnog uzorka u dvodimenzionalnom prostoru *alfa-VF*, dok su u tablici 2 i 3 pojedinačne vrijednosti. Vrijednosti su obaju parametara više za klapsko pjevanje. *Alfa* se u većine pjevača kreće u rasponu od -7 do -2 dB, a gotovo u svih govornika u rasponu od -13 do -10 dB.

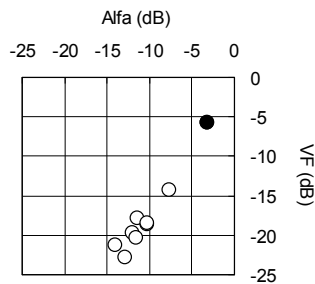
Gotovo za sve govornike vrijednosti se *VF* kreću u rasponu od -23 do -18 dB, dok su u klapskom pjevanju podosta raspršene, no većinom unutar -18 i -13 dB.

Više vrijednosti za klapsko pjevanje upućuju na pojačanje spektra u području 2-4 kHz, no to pojačanje nije dovoljno da bi upućivalo na pjevački formant. U oba su grafikona uvrštene vrijednosti *alfa* i *VF* opernoga pjevača kako bi se istakle razlike između klapskoga i opernog pjevanja, poglavito na varijabli *VF*.

Slika 7 prikazuje pojedinačne regresijske linije klapskoga pjevanja i govora izračunate za dugotrajne prosječne spektre pjevača, odnosno govornika, za područje od 0.6 do 4 kHz.

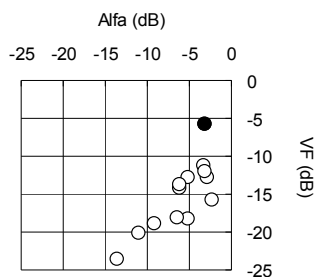
Prikaz upućuje na sličnost veličine nagiba spektralne ovojnice prema visokim frekvencijama između govora i klapskoga pjevanja. Regresijske su linije klapskoga pjevanja raspršenije u odnosu na govor, što je razumljivo – to odražava individualne razlike u interpretaciji i umijeću pjevanja, produkciji pjevanoga glasa.

Grafikon 1. Vrijednosti alfa i VF u govoru (kontrolni uzorak ispitanika, N=8)



Napomena: Crni kružić iskazuje vrijednosti opernoga pjevača

Grafikon 2. Vrijednosti alfa i VF u klapskom pjevanju (eksperimentalni uzorak ispitanika, N=12)



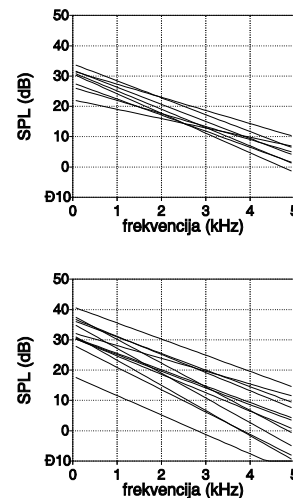
Napomena: Crni kružić iskazuje vrijednosti opernoga pjevača

Nadalje, u dvodimenzionalnom prostoru (Hz-dB) položaj je regresijskih linija izračunatih za govor niži, što bi se moglo protumačiti razlikama u jakosti glasa, jer pjevanje se u pravilu izvodi većom glasnoćom, tj. zahtijeva veću napetost fonacijskog aparata nego govorenje ugodnom visinom i jakošću glasa. To upućuje na veću napetost fonacijskog aparata pri klapskom pjevanju, a to može biti zbog višeg F_0 , što je povezano s višim subglotičkim tlakom, te (ne nužno), i s većom jakošću glasa koje općenito zahtijeva produkcija pjevanoga glasa.

Tablica 4. Prosječni intenziteti pojaseva od tisuću herca izračunati iz LTAS govora (N=8), klapskog pjevanja (N=12) i opernog pjevanja (N=1)

Pojas (kHz)	Govor	Klasko pjevanje	Operno pjevanje
0-1	35.62	34.69	35.48
1-2	23.51	28.37	25.12
2-3	14.40	19.17	31.24
3-4	14.57	16.56	17.26
4-5	10.91	8.79	-0.73

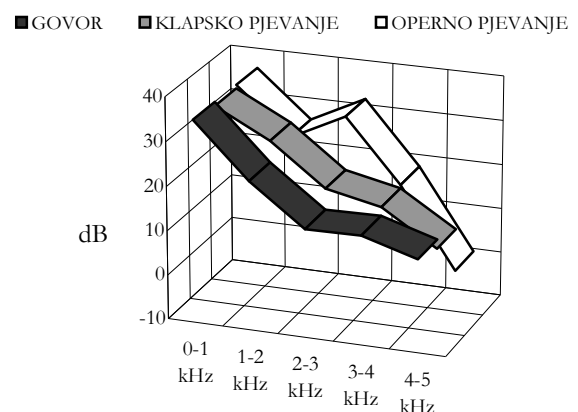
Slika 7. Regresijske linije izračunate za pojedinačne dugotrajne prosječne spektre govora, N=8 (gore) i klapskoga pjevanja, N=12 (dolje)



Međutim, u nekih su pjevača vrijednosti *alfa* usporedive s vrijednostima dobivenima za govornike.

Dodatno ispitivanje sličnosti klapskoga pjevanja i govora izvršeno je računanjem prosječne jakosti pojaseva širine tisuću herca, tj. pojaseva 0-1 kHz, 1-2 kHz, 2-3 kHz, 3-4 kHz i 4-5 kHz. Rezultati ove analize prikazani su u grafikonu 3, te u tablici 4. Da bi se istakle razlike između klapskoga i opernog pjevanja, odnosno da bi se istakle sličnosti klapskoga pjevanja s govorom, u obradu je uključen i reprezentativni uzorak opernog pjevanja mladog muškarca. Kao što se može vidjeti (grafikon 3), razlika u distribuciji prosječne jakosti pojaseva širine tisuću herca u spektru je bitno manja između klapskoga pjevanja i govora, nego između klapskoga i opernog pjevanja. U opernom se pjevanju ističe jakost pojasa 2-3 kHz (područje pjevačkoga formanta) i taj je dio ovako prikazanog spektra dominantan.

Grafikon 3. Prosječni intenziteti pojaseva od tisuću herca izračunati za LTAS govora (N=8), klapskoga pjevanja (N=12) i opernog (N=1)



U klapskom je pjevanju to područje nešto jače nego u govoru, ali nedovoljno da bi upućivalo na pjevački formant ili imalo sličnosti s njim.

RASPRAVA I ZAKLJUČAK

Cilj je istraživanja bio opisati spektralne karakteristike klapskoga pjevanja dvanaestorice profesionalnih folklornih pjevača, te ispitati postoji li pjevački formant. U dugotrajnim prosječnim spektrima nije utvrđen pjevački formant. Nepostojanje su pjevačkog formanta u neopernom pjevanju također utvrdili Cleveland i sur. (2000) analizirajući dugotrajne prosječne spektre petorice pjevača američke *country* glazbe, zatim Ross (1992) koji je analizirao glas dviju estonijskih folklornih pjevačica, te Burns (1986) koji je nedostatak pjevačkog formanta u pjevača *country-and-western* glazbe interpretirao kao pogrešnu tehniku pjevanja, a to u okvirima današnjih spoznaja o glasu nije prihvatljivo. Naime, pjevački formant nije jedini preduvjet dobre kvalitete glasa (Bartholomew, 1934). Primjer su profesionalne operne pjevačice sopranistice, koje unatoč nepostojanju pjevačkog formanta imaju dobru kvalitetu glasa (npr. Bloothoof i Plomp, 1986). Nepostojanje su pjevačkog formanta u pjevanju *pop* glazbe utvrdili Zangger Borch i Sundberg (2002). Oblici spektra petorice pjevača za čije su glasove spomenuti autori računali dugotrajni prosječni spektar usporedivi su s oblicima spektra klapskih pjevača u ovom istraživanju.

Nepostojanje pjevačkog formanta u klapskom pjevanju objašnjava nekoliko faktora. Prvi je činjenica da su se ispitivali glasovi pjevača koji nisu pohađali studij pjevanja, a poznato je da je pjevački formant rezultat sustavnog školovanja glasa. Nadalje, ispitivalo se glasove zbornih pjevača, tj. članova profesionalnog ansambla koji nastupaju skupno. Istraživanja Rossinga i sur. (1986), te Ternströma i Sundberga (1989) pokazala su da je oslonac na pjevački formant glavna karakteristika solističkog pjevanja, dok je u dugotrajnom spektru zbornog pjevanja spektralna energija viša u području fundamentalne frekvencije nego u području pjevačkog formanta.

Temeljna je karakteristika zbornog te klapskog pjevanja višeglasje, kojega je cilj stvoriti određenu boju zvuka, a ona je produkt izbalansirane vokalne produkcije i zajedničkog napora pjevača. Uz ostalo, tu se misli na međusobno oslušivanje i prilagođavanje vlastite kvalitete glasa kvaliteti glasa drugih pjevača želi li se postići skladno suzvučje. Nedostatak pjevačkog formanta u klapskom se pjevanju može objasniti i činjenicom da klapski pjevači nemaju potrebu "natjecati se" s orkestralnom pratnjom, te ne postoji bojazan da će njihovi glasovi biti zamaskirani zvukom (spektrom) simfonijskoga orkestra koji je uobičajena pratnja opernim pjevačima. Naime, klapsko se pjevanje izvodi *a cappella*, a iznimno rijetko uz instrumentalnu pratnju, tada najčešće tiho (Rapanić, 1979; Bezić, 1979). Sljedeći mogući razlog nepostojanja pjevačkog formanta jest da pjevači u ovom istraživanju nisu pjevali vrlo glasno. Klapske se pjesme uglavnom izvode tiho i serenadno, iako ima iznimaka (Rapanić, 1979). Primjer je klapsko pjevanje na Dalmatinskim otocima (Čaleta, 1997). Bloothoof i Plomp (1986), uz ostalo, ističu ovisnost (jakosti) pjevačkog formanta o jakosti glasa, te njegovo odsustvo u tihom pjevanju opernih pjevača. To može biti tema za neko buduće eksperimentalno istraživanje u kojem bi se pjevački formant ispitivao pri različitim apsolutnim razinama zvučnoga tlaka pjevanoga glasa i pjevačkog formanta, tj. pri različitim glasnoćama pjevanja

(*pianissimo pp*, *mezzopiano m*, *piano p*, *forte f*, *mezzoforte f* i *fortissimo ff*), te na različitim tonskim visinama.

Vizualnom inspekcijom pojedinačnih dugotrajnih spektara pjevača ustanovljeno je da postoje sličnosti s oblikom spektra govora. To se odnosi na veličinu nagiba spektralne ovojnice prema višim frekvencijama, te na raspored i amplitude spektralnih vrhova. U nekih je pjevača pojačano područje četvrtog formanta (govornički formant), tj. oblik je spektra sličan obliku spektra izvježbanoga (kultiviranoga) govora.

Podrobnije ispitivanje sličnosti klapskoga pjevanja i govora ispitalo se naknadnim uvođenjem uzorka govornika. Uz dugotrajni prosječni spektar, računalo se parametre *alfa* i *V/F* (jakost visokih formanta), te prosječnu jakost spektra u pojasevima širine tisuću herca (0-1 kHz, 1-2 kHz, 2-3 kHz, 3-4 kHz i 4-5 kHz). U spomenute je obrade uključen pjevani glas reprezentativnoga opernog pjevača, kako bi se jasnije uočio položaj klapskoga pjevanja u odnosu na govor i operno pjevanje. Ustanovljeno je da su spektralne karakteristike klapskoga pjevanja bitno bliže govornima. Razlike pak između klapskoga pjevanja i govora ustanovljene su u području viših frekvencija, 2-4 kHz. To je područje pojačanije u klapskom pjevanju, ali kao što je rečeno, nedovoljno da bi upućivalo na pjevački formant. U spektrima nekih pjevača, ono upućuje na govornički formant. Taj su formant u analizi pjevanoga i govornoga glasa petorice profesionalnih pjevača *country* glazbe utvrdili Cleveland i sur. (2000) zaključivši da pjevači *countryja* koriste dobru kvalitetu govornoga glasa u pjevanju, dakle da je strategija vokalne produkcije pjevanja američke *country* glazbe i govora slična. Na sličnu povezanost klapskoga pjevanja i govora upućuju rezultati ovoga istraživanja.

Uz to što je potrebno više istraživanja o akustičkim (spektralnim) karakteristikama klapskoga pjevanja, i to poželjno na uzorcima autentičnih klapskih pjevača, nameće se i potreba analize glasa (prvih) tenora, čija je uloga u klapi specijalna. Tenor je zaštitni znak klape i osim po specifičnoj boji zvuka, klape se prepoznaju upravo i po svojim prvim tenorima (Čaleta, 1997). Tenor uobičajeno započinje i vodi pjesmu, dok ga ostali glasovi prate. Zbog toga zasigurno postoji potreba za većom snagom i briljantnošću glasa tenora kako ga ne bi maskirala pratnja ostalih glasova. Ta potreba za isticanjem upućuje na mogućnost drugačije vokalne produkcije tenora u odnosu na prateće glasove. Zbog toga se uvjerljivo čini pretpostavka da se tenori oslanjaju na pjevački formant, dakle da je pjevački formant poželjna spektralna karakteristika. Testiranje je te hipoteze zadatak budućih istraživanja.

LITERATURA

- 1) Barrichelo, V.M., Heuer, R.J., Dean, C.M., Sataloff, R.T. (2001). Comparison of singer's formant, speaker's ring, and LTA spectrum among classical singers and untrained normal speakers. *Journal of Voice*, 15, 3. 344-350.
- 2) Bartholomew, W.T. (1934). A physical definition of "good voice-quality" in the male voice. *Journal of the Acoustical Society of America* VI, July. 25-33.
- 3) Bezić, J. (1979). Dalmatinske klapske pjesme kroz deset godina omiškog festivala. U: Zbornik dalmatinskih klapskih pjesama izvedenih na festivalima u Omišu od 1967. do

1976. Festival dalmatinskih klapa Omiš, Omiš. 16-23.
- 4) Bloothoof G, Plomp R. (1986). The sound level of the singer's formant in professional singing. *Journal of the Acoustical Society of America* 79, 6. 2028-2033.
- 5) Bloothoof G., Bringmann, E., Van Cappellen, M., Van Luipen, J.B., Thomassen, K.P. (1992). Acoustics and perception of overtone singing. *Journal of the Acoustical Society of America* Oct, 92. 1827-1836.
- 6) Burns, P. (1986). Acoustical analysis of the underlying voice differences between two groups of professional singers: opera and country and western. *Laryngoscope* 96, 5. 549-554.
- 7) Cleveland, T. F., Sundberg, J., Stone, R.E. (2000). Long-term-average spectrum characteristics of country singers during speaking and singing. *Tal Musik Hörsel Quarterly Status and Progress Report* 2-3. 89-94.
- 8) Čaleta, J. (1997). Klapa singing, a traditional folk phenomenon of Dalmatia. *Narodna Umjetnost*, 34, 1. 127-145.
- 9) Doskov, D., Ivanov, T., Boyanov, B. (1995). Comparative analysis of singer's high formant in different type of singing voices. *Folia Phoniatria et Logopaedica* 47. 291-295.
- 10) Frøkjær-Jensen, B., Prytz, S. (1976). Registration of voice quality. *Bruel & Kjaer Technical Review*, 3. 3-17.
- 11) Grawunder, S. (2003). Comparison of voice production types of "Western" overtone singing and South Siberian throat singing. U: 15th ICPHS Proceedings, 1699-1702.
- 12) Hollien, H. (1983). The puzzle of the singer's formant. U: Bless, D. M., Abbs, J.H. (ur.): *Vocal fold physiology: Contemporary research and clinical Issues*. College-Hill Press. San Diego: California. 368-378.
- 13) Klingholz, F. (1993). Overtone singing: productive mechanisms and acoustic data. *Journal of Voice* 7, 2. 118-122.
- 14) Kovačić, G., Boersma, P., Domitrović, H. (2004). Analiza dugotrajnog prosječnog spektra *ojkanja*. *Govor*, 21, 1. 39-56.
- 15) Leino, T. (1994). Long-term average spectrum study on speaking voice quality in male actors. U: Friberg, A., Iwarsson, J., Jansson, E., Sundberg, J. (ur.): *SMAC 93, Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference, July 28-August 1, 1993*. Royal Swedish Academy of Music: Stockholm. 206-210.
- 16) Lindestad, P.-Å., Sodersten, M., Merker, B., Granqvist, S. (2001). Voice source characteristics in Mongolian "Throat Singing" studied with high-speed imaging technique, acoustic spectra, and inverse filtering. *Journal of Voice* 15, 1. 78-85.
- 17) Nawka, T., Anders, L. C., Cebulla, M., Zurkowski, D. (1997). The speaker's formant in male voices. *Journal of Voice* 11, 4. 422-428.
- 18) Rapanić, Ž. (1979). Deset godina Festivala dalmatinskih klapa. U: *Zbornik dalmatinskih klapskih pjesama izvedenih na festivalima u Omišu od 1967. do 1976. Festival dalmatinskih klapa Omiš, Omiš*. 9-13.
- 19) Ross, J. (1992). Formant frequencies in Estonian folksinging. *Journal of the Acoustical Society of America* 91, 6. 3532-3539.
- 20) Rossing, T. D., Sundberg, J., Ternström, S. (1986). Acoustic comparison of voice use in solo and choir singing. *Journal of the Acoustical Society of America* 79, 6. 1975-1981.
- 21) Schutte, H. K., Miller, R. (1985). Intraindividual parameters of the singer's formant. *Folia Phoniatria* 37. 31-35.
- 22) Schutte, H. K., Miller, D. G. (1993). Belting and pop, nonclassical approaches to the female middle voice: some preliminary considerations. *Journal of Voice* 7, 2. 142-150.
- 23) Seidner, W., Schutte, H. K., Wendler, J., Rauhut, A. (1983). Dependence of high singing formant on pitch and vowel in different voice types. U: Askenfelt, A., Felicetti, S., Jansson, E., Sundberg, J. (ur): *SMAC 83, Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference. Vol. 1. Royal Swedish Academy of Music: Stockholm*. 261-268.
- 24) Stone, R. E., Jr., Cleveland, T. F., Sundberg, J. (1999). Formant frequencies in country singers' speech and singing. *Journal of Voice* 13, 2. 161-167.
- 25) Stone R. E., Jr, Cleveland, T. F., Sundberg, J., Prokop, J. (2003). Aerodynamic and acoustical measures of speech, operatic, and Broadway vocal styles in a professional female singer. *Journal of Voice*, 17, 3. 283-297.
- 26) Sundberg, J. (1970). The level of the 'singing formant' and the source spectra of professional bass singers. *Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report* 4. 21-39.
- 27) Sundberg, J. (1972). A perceptual function of the "singing formant". *Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report*, 2-3. 61-63.
- 28) Sundberg, J. (1973). The source spectrum in professional singing. *Folia Phoniatria* 25. 71-90.
- 29) Sundberg, J. (1974). Articulatory interpretation of the "singing formant". *Journal of the Acoustical Society of America* 55, 4. 838-844.
- 30) Sundberg, J. (1978). Effects of the vibrato and the 'singing formant' on pitch. *Musicologica Slovaca*, 6, 51-69.
- 31) Sundberg, J., Cleveland, T.F., Stone, R.E., Jr., Iwarsson, J. (1999). Voice source characteristics in six premier country singers. *Journal of Voice* 13, 2. 168-183.
- 32) Ternström, S., Sundberg, J. (1989). Formant frequencies of choir singers. *Journal of the Acoustical Society of America* 86, 2. 517-522.
- 33) Thalén, M., Sundberg, J. (2001). "Describing different styles of singing: a comparison of a female singer's voice source in 'classical', 'pop', 'jazz' and 'blues,'" *Logopedics Phoniatics Vocology* 26. 82-93.
- 34) Thunberg, G. C. (2003). Spectral balance utilization in different speaking styles – a preliminary investigation. U: *Proceedings of the 15th ICPHS (Knjiga u elektroničkom formatu, CD)*. 2149-2152.
- 35) Van Tongeren, M. C. (2002). *Overtone singing – Physics and metaphysics of harmonics in East and West*. Amsterdam: Fusica.
- 36) Zangger Borch, D., Sundberg, J. (2002). Spectral distribution of solo voice and accompaniment in pop music. *Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report* 43, 31-35.

Napomene

Istraživanje je dio projekta *Akustičke karakteristike hrvatskoga folklornog pjevanja* kojega je omogućio *Nuffic* u sklopu programa *Huygens 2002./2003*. Autori najtoplije

zahvaljuju Ansamblu *LADO* te osoblju Zavoda za elektroakustiku FER-a Sveučilišta u Zagrebu na dobrovoljnom sudjelovanju u fazi prikupljanja podataka. Zahvale i prof. Johanu Sundbergu na vrijednim savjetima.

PRILOG 1

Tekst pjesme *Zaspalo je siročē*

Zaspalo je siročē ispid tuđih dvora,
Rućicama doziva priko sinjeg mora,
Rućicama doziva priko sinjeg mora.

Dođi, dođi, oće moj, mrkla noć se sprema,
Naše mile majčice još nam doma nema,
Naše mile majčice još nam doma nema.

PRILOG 2

Pojedinaćni dugotrajni prosjećni spektri govora i regresijske linije za kontrolni uzorak ispitanika (govornika), N=8

