

AKUSTIČKE ZNAČAJKE VOKALNOGA ZAMORA

GORDANA KOVAČIĆ¹ I EMICA FARAGO²

¹Odjel Spikeri i voditelji, Hrvatska radiotelevizija, Zagreb, gordana.kovacic@hrt.hr

²Odsjek za logopediju, Edukacijsko-rehabilitacijski fakultet, Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

Primljeno: 3.1.2017.
Prihvaćeno: 15.3.2017.

Izvorni znanstveni rad
UDK: 81'342

Sažetak: Vokalni se zamor temelji na samopercepciji povećanog laringalnog naprezanja i promjena kvalitete glasa. Može imati organsku i/ili funkcionalnu etiologiju. Ponajviše pogađa vokalne profesionalce među kojima su nastavnici najbrojniji. Unatoč brojnim istraživanjima, pitanje akustičkih značajki vokalnoga zamora još je otvoreno. Motiv je to i ovog istraživanja provedenog na uzorku nastavnica. Postavljena je hipoteza prema kojoj postoje značajne razlike u akustičkim varijablama glasa između nastavnica s vokalnim zamorom ($N=23$) i nastavnica bez vokalnoga zamora ($N=27$). Tekući govor i produžena fonacija vokala /a/ analizirani su u programu PRAAT računanjem dugotrajnog prosječnog spektra LTAS-a govora. Mjerilo se prosječni govorni F_0 i niz spektralnih veličina: jakost najjačeg spektralnog vrha $L0$, omjer α (omjer energije područja frekvencija 0-1 kHz i područja 1-5 kHz) te varijable $\Delta 1$, $\Delta 2$, $\Delta 3$ i $\Delta 4$ koje iskazuju omjer spektralnih energija područja viših frekvencija i to pojaseva 1-2 kHz, 2-3 kHz, 3-4 kHz i 4-5 kHz i referentnog područja 0-1 kHz. Računalo se i prosječni H_1/H_2 iz harmoničkog spektra triju uzoraka produžene fonacije vokala /a/. Hipoteza je testirana multivarijatnom i univarijatnim analizama varijance te diskriminativnom analizom. Rezultati obrada pokazali su da ne postoje statistički značajne razlike u skupu akustičkih varijabli između skupina nastavnica. Postavljena je hipoteza odbačena. Međutim, kao pojedinačni se diskriminator izdvojio govorni F_0 čija je prosječna vrijednost u skupini nastavnica bez vokalnoga zamora 194 Hz, a u skupini nastavnica s vokalnim zamorom ispodprosječnih 176 Hz što signalizira poremećaj. Nepostojanje akustičkih razlika između skupina nastavnica objašnjeno je nizom mogućih faktora, a najsnažnije činjenicom da je utvrđen podjednak broj vokalnih i tjelesnih subjektivnih smetnji čime se potvrđuje kompleksna fenomenologija sindroma vokalnoga zamora, ali i sužuje snaga akustičke analize kao alata za njegovo otkrivanje.

Cljučne riječi: vokalni zamor, akustička analiza, dugotrajni prosječni spektar LTAS, govorni F_0 , nastavnici

UVOD

Vokalni je zamor jedna od ključnih riječi znanosti o glasu, osobito od 1990-ih. Unatoč velikom broju istraživanja, njegova fiziološka i biomehanička priroda i dalje intrigiraju znanstvene umove. Njemački su ga liječnici s kraja 19. stoljeća i početka 20-oga, primjerice Bernhard Fränkel i Theodor Simon Flatau, opisali kao slabost glasa koju su različito nazivali – *mogiphonia*, *phonasthenia* (prema Zehmisch i sur., 1979). Amerikanac Chevalier Jackson (1940) isticao je premorenost intrinzičnih laringalnih mišića (tiroaritenoidnih) uslijed koje dolazi do pojave niza subjektivnih simptoma na razini larinksa poput slabosti, stegnutosti i boli na što se ponajviše žale oni pojedinci koji glas koriste profesionalno. Spomenuti je liječnik izdvojio zloupotrebu glasa, odnosno izravnu i neizravnu laringalnu traumu kao glavne uzroke pojave vokalnoga zamora u što se i danas vjeruje, a naziva ih se i *vokalnim predoziranjem*. Pisao je i o predispoziciji

za vokalni zamor koju ističu i današnji autori sintagmom *slabašan larinks* (“*tender larynx*”) (Hunter i Titze, 2009). Uz spomenute laringalne simptome, vokalni se zamor manifestira i nizom drugih subjektivnih smetnji. To su suhoća grla i/ili ždrijela, potreba za iskašljavanjem, stezanje u grlu i prsima, neugodan osjećaj u vratu i ramenima, bolna fonacija, bolno gutanje, govorenje/pjevanje uz povećan napor, promjene visine glasa i glasnoće, manji ton-ski i dinamički raspon glasa, smanjena glasovna izražajnost, nestabilna kvaliteta glasa, opadanje snage glasa tijekom dana (Munier i Farrell, 2016; Blaži i Heđever, 2010; Ilomäki i sur., 2009; Lehto i sur., 2006; Welham i Maclagan, 2004; Kovačić, 2003; Kostyk i Rochet, 1998; Eustace i sur., 1996; Johnson, 1994; Kitch i Oates, 1994). Iz nabrojenog se razabire da je među subjektivnim simptomima velik broj tjelesnih smetnji, a ne samo vokalnih. One mogu biti čujne u rasponu od jedva slušno opazljivih disfonija do vrlo jakih (pa i afonije).

Ovo istraživanje želi ispitati učinkovitost sofisticirane tehnologije brze i neinvazivne akustičke analize u detekciji vokalnoga zamora te koje su njegove akustičke značajke. Na to se pitanje već dulje vrijeme nastoji pronaći odgovor jer njegovo bi iznalaženje doprinijelo ranom otkrivanju sindroma vokalnoga zamora pa i njegovoj prevenciji. Najviše se po tom pitanju učinilo na području mjerenja učinaka akutnoga vokalnoga zamora u laboratorijskim uvjetima inducirano različitim vrstama fonacijskog opterećenja u raznovrsnim ergonomskim uvjetima, a manje u stvarnim situacijama. U oba slučaja rezultati nisu konzistentni što opravdava daljnja istraživanja u tom smjeru, no i iznova potvrđuje složenost ovog fenomena. Govoreći o nekonzistentnosti rezultata treba naglasiti da su autori koji su se uhvatili te problematike koristili različite metodologije. Tako su Lauri i sur. (1997) mjerili glasove 40 žena i 40 muškaraca koji su u različitim ergonomskim uvjetima pet puta po 45 minuta čitali naglas čime se simulirao radni dan nastavnika. Rezultati analize glotalnoga signala snimljenog prije i poslije eksperimenta, a ekstrahirani metodom inverznog filtriranja akustičkog signala, pokazali su promjene u smjeru vokalne hiperfunkcije u skupini žena. Laukkanen i sur. (2004a) su na uzorku 24 žene prosječne životne dobi 38 godina mjerili učinke vokalnog opterećenja izazvanog 45-minutnim čitanjem glasnoćom kojom se glasa u učionici srednje veličine. Utvrdili su značajne razlike između početnog i završnog mjerenja u samoprocjeni vokalnog zamora, poteškoćama u foniranju, iritaciji i boli u grlu te promuklosti, a akustičkom analizom uzoraka govora habitualnom glasnoćom u trajanju jedne minute izmjerili porast vrijednosti F_0 i manji nagib spektralne ovojnice *LTAS*-a. Kapec i Kovačić (2010) ispitivale su učinke 45-minutnog čitanja povišenim glasom u 9 mladih žena urednoga glasovnog statusa. Samoprocjenom je glasa nakon vokalnog opterećenja utvrđen vokalni zamor blagog i umjerenog stupnja te napetost glasa, a rezultati akustičke analize produžene fonacije vokala /a/ pokazali su bitno višu vrijednost *HNR*-a, te bitno nižu vrijednost *jittera* nakon eksperimentalnog zadatka što su autorice protumačile kao kompenzacijsku fonacijsku hiperfunkciju, a ne "bolji" glas. Kitch i sur. (1996) mjerili su pak učinke pjevačkog nastupa na uzorku 10 profesionalnih zbornih pjevača-tenora prosječne dobi 38,7 godina analizirajući niz uzoraka produžene fonacije vokala /a/ različitih tonskih visina i glasnoća prije i poslije koncertne izvedbe. U većine su ispitanika nakon koncerta utvrđeni akustički pokazate-

lji pogoršanja vokalnog statusa: bitno više vrijednosti *jittera* na visokim tihim tonovima, ugodnoj i bazalnoj visini glasa, više vrijednosti *shimmera* na bazalnoj visini glasa, niža vrijednost *HNR*-a na ugodnoj visini glasa i visokim tihim tonovima. Kovačić (2002) je na uzorku 10 profesionalnih plesača-pjevača mjerila učinke radnog vremena i utvrdila da su bazalna visina glasa i *HNR* na najvišem mogućem tonu foniranja najosjetljivije varijable čije su vrijednosti nakon radnog vremena bile značajno više. Autorica ovu promjenu nije interpretirala kao poboljšanje vokalnoga statusa nego je vrijednosti početnog mjerenja povezala s jutarnjim glasom koji karakterizira najnižu vrijednost bazalne visine glasa, a može se očekivati i niža vrijednost *HNR*-a i to uslijed opuštene laringalne muskulature, tj. neugrijanosti glasa pa je zaključila da se glasove trebalo snimati u još jednoj vremenskoj točki, onoj neposredno nakon ugrijavanja glasa temeljem kojeg učinak vokalnog zamora ne bi bio zamaskiran značajkama jutarnjega glasa. Istraživanje Laukkanen i sur. (2008) provedeno na 79 nastavnica čiji su uzorci tekućega govora i produžene fonacije vokala /a/ ugodnom glasnoćom te glasnoćom kojom bi se glasale u razredu analizirani prije i poslije radnog dana pokazalo je više vrijednosti F_0 , *SPL*-a i omjera α na uzorcima govora te više vrijednosti F_0 i *SPL*-a na uzorcima fonacije uz istodobno niže vrijednosti *jittera* i *shimmera*.

Budući da vokalni zamor ponajviše pogađa vokalne profesionalce, u ovom se istraživanju proučavao na nastavnicama koje su nesumnjivo među najvećim "potrošačima" glasa što ih istodobno čini i najugroženijima kada se govori o vokalnog zdravlju.

CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj je istraživanja utvrditi akustičke značajke vokalnoga zamora nastavnica mjerenjem prosječnoga govornog F_0 , omjera H_1/H_2 iz produžene fonacije vokala /a/ i spektralnih veličina iz dugotrajnog prosječnog spektra *LTAS*-a govora. Mjerenje *LTAS*-a odabrano je zato što je rad usredotočen na evaluaciju dugotrajnoga, kroničnog vokalnog zamora, a *LTAS* je ponajbolji objektivni prezentant (dugotrajne) kvalitete glasa. Mjeri se za uzorak tekućega govora koji sadrži bitno više informacija o kvaliteti glasa nego produžena fonacija vokala (npr. Schaeffer i Sidavi, 2010; Maryn i sur., 2010; Fourcin i Abberton, 2008; Bele, 2005; Eadie i Doyle, 2005; Halberstam, 2004). Stoga ga i za subjektivnu procjenu glasa preporučuje

Odbor za fonijatriju *Europskog udruženja laringologa* (DeJonckere i sur., 2001). Unatoč tomu, spektralne se karakteristike vokalnoga zamora relativno malo istraživalo, i to uglavnom u uvjetima kratkotrajnog vokalnog opterećenja izazvanog u laboratorijskim uvjetima (npr. Laukkanen i sur., 2008; Rantala i sur., 1998; Novak i sur., 1991). Pritom se porast vrijednosti spektralnih veličina (omjer α , relativnu spektralnu energiju po određenim područjima frekvencija) interpretiralo kao posljedičnu fonacijsku hiperfunkciju.

Rezultati ovog istraživanja usredotočeni su na mjerenje akustičkih značajki dugotrajnoga vokalnoga zamora. Doprinijet će rasvjetljavanju sindroma vokalnoga zamora uopće, biti korisni njegovoj kliničkoj evaluaciji, a mogli bi iznjedrili varijable bitne za logopedski probir glasa s ciljem (ranog) otkrivanja vokalnoga zamora.

HIPOTEZA ISTRAŽIVANJA

Postavljena je hipoteza H_1 prema kojoj postoje statistički značajne razlike u akustičkim značajkama glasa između nastavnica s vokalnim zamorom i nastavnica bez vokalnoga zamora. U usporedbi s nastavnicama bez zamora, nastavnice s vokalnim zamorom imaju nižu vrijednost prosječnoga govornog F_0 , niži H_1/H_2 te niže vrijednosti relativne jakosti najjačeg spektralnog vrha područja 0-5 kHz, omjera α i spektralne energije područja frekvencija 1-2 kHz, 2-3 kHz, 3-4 kHz i 4-5 kHz u odnosu na referentno područje 0-1 kHz.

METODE RADA

Uzorak ispitanika

U uzorku je ispitanika 50 nastavnica zaposlenih u osnovnim školama Grada Zagreba u punom radnom vremenu. Prosječna im je dob $40,8 \pm 10,6$ godina (raspon: 24-60), a prosječna duljina nastavničkog radnog staža $15,7 \pm 10,8$ godina (raspon: 1-36). U istraživanju su sudjelovale dobrovoljno.

Uzorak nastavnica podijeljen je u dvije skupine. Kriterij podjele bio je broj subjektivnih simptoma vokalnoga zamora ispitan samoprocjenom simptoma vokalnoga zamora pa one nastavnice koje pate od triju ili više simptoma tvore skupinu nastavnica s vokalnim zamorom (u daljnjem tekstu VZ). Njih su 23. Ispitanice bez ijedne subjektivne smetnje, odno-

sno s manje od tri simptoma tvore skupinu bez vokalnoga zamora (u daljnjem tekstu BVZ). Izbrojano ih je 27. Opisano formiranje uzoraka u istraživanjima ove vrste nije neuobičajeno jer vrlo je malo nastavnica bez ijednog vokalnoga simptoma (ovdje detektirano samo 6). Tablica 1 prikazuje frekvencije, odnosno postotke nastavnica s obzirom na broj simptoma.

Tablica 1. Frekvencije i postoci nastavnica po broju subjektivnih simptoma vokalnoga zamora

Broj simptoma	Frekvencija (i postotak, %)	Kumulativna frekvencija (i postotak, %)
0*	6 (12)	6 (12)
1*	12 (24)	18 (36)
2*	9 (18)	27 (54)
3	10 (20)	37 (74)
4	8 (16)	45 (90)
5	3 (6)	48 (96)
6	0	48 (96)
7	0	48 (96)
8	1 (2)	49 (98)
9	0	49 (98)
10	1 (2)	50 (100)
Ukupno	50	

* Skupina BVZ

Nastavnice skupine VZ imaju prosječno po četiri simptoma vokalnoga zamora među kojima su najučestaliji promuklost, nadražajni kašalj, neugodan osjećaj u grlu i vratu (bol, napetost), produbljen glas i suhoća grla. Skupina BVZ ima u prosjeku po jedan simptom. Najčešće je to suhoća grla ili promuklost. (Detaljnu raspodjelu simptoma vokalnoga zamora v. u prilogu 1.) Tablica 2 pokazuje da se životnom dobi i duljinom radnog staža u nastavi skupine BVZ i VZ statistički bitno ne razlikuju što opravdava usporedbu njihovih rezultata. Nadalje, u skupini BVZ je 8 pušačica (30%), a u VZ ih puši 9 (39%). Vokalnim se hobijima (pjevanje, gluma, predavanje izvan radnog vremena...) u skupini BVZ bavi 7 nastavnica (26%), a u VZ 4 (17%).

Uzorak varijabli

Uzorak varijabli čine akustičke veličine mjerene iz uzoraka tekućega govora (čitanja) trajanja jedne minute i produžene fonacije vokala /a/ trajanja jedne sekunde. Uz kratak opis donosi ih tablica 3.

Tablica 2. Univarijatne analize varijance dobi i nastavničkog radnog staža u nastavnica bez vokalnoga zamora BVZ (N=27) i nastavnica s vokalnim zamorom VZ (N=23)

Varijabla	BVZ		VZ		Wilksova λ	F-omjer	DF		p
	M	SD	M	SD			1	2	
Dob, godina	38,6	9,81	43,30	11,08	0,950	2,505	1	48	0,120
Stož, godina	13,9	9,69	17,78	11,93	0,969	1,561	1	48	0,218

M=aritmetička sredina, SD=standardna devijacija, DF=stupnjevi slobode, p= vjerojatnost.

Tablica 3. Akustičke varijable

Varijabla, mjerna jedinica	Opis
F_0 , Hz	prosječna govorna fundamentalna frekvencija
$L0$, dB	relativna jakost najjačeg spektralnog vrha područja 0-5 kHz
H_1/H_2 , dB	prosječni omjer amplituda prvoga i drugog harmonika
α , dB	omjer α , nagib spektralne ovojnice (0-5 kHz)
$\Delta 1$, dB	omjer spektralne energije područja 1-2 kHz i 0-1 kHz
$\Delta 2$, dB	omjer spektralne energije područja 2-3 kHz i 0-1 kHz
$\Delta 3$, dB	omjer spektralne energije područja 3-4 kHz i 0-1 kHz
$\Delta 4$, dB	omjer spektralne energije područja 4-5 kHz i 0-1 kHz

Govorna fundamentalna frekvencija F_0 izračunata je automatski algoritmom ugrađenim u program PRAAT, v. 5.2.16 (Boersma i Weenink, 2011) koji se koristilo za obradu zvukovnih podataka, dok su za spektralne varijable ($L0$, α , $\Delta 1-4$, H_1/H_2) napisane računalne naredbe¹ prema kojima ih se računalo također automatski. Najjači spektralni vrh $L0$ računalo se iz LTAS-a koji je postavljen tako da analizira uzorke zvuka po pojasevima širine 100 Hz. Program je detektirao pojas u kojem je spektralna energija u području frekvencija 0-5 kHz najviša, a prema izrazu:

$$L0 = 10 \log \frac{\overline{E}_{\max.\text{bin}}(0..5\text{kHz})}{\overline{E}_{0-5\text{kHz}}}$$

Nagib spektralne ovojnice α izražen je omjerom spektralne energije područja viših frekvencija (1-5 kHz) i nižih (0-1 kHz). Iskazuje dakle balans spektralne energije po frekvencijama za analizirani raspon frekvencija. Izračunat je na način kako su ga odredili Frøkjær-Jensen i Prytz (1976):

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

Niz spektralnih varijabli delta Δ ($\Delta 1$, $\Delta 2$, $\Delta 3$ i $\Delta 4$) izražen je omjerom spektralnih energija područja viših frekvencija i područja 0-1 kHz kao referentnog. To nalikuje računanju parametra α : varijable Δ mjere nagib spektra u pojasevima frekvencija širine 1000 Hz pri čemu su područja viših frekvencija čija se spektralna energija uspoređuje s referentnim pojasom frekvencija (0-1 kHz) sljedeća:

- 1-2 kHz, za računanje varijable $\Delta 1$
- 2-3 kHz, za računanje varijable $\Delta 2$
- 3-4 kHz, za računanje varijable $\Delta 3$
- 4-5 kHz, za računanje varijable $\Delta 4$.

Takva metodologija u literaturi nije korištena. Sličan model u kojem je referentno područje frekvencija od 50 Hz do 1 kHz s kojim se uspoređuju najjači spektralni vrhovi u pojasevima frekvencija širine tisuću herca za LTAS raspona frekvencija 0-5 kHz koriste primjerice Laukkanen i sur. (2004b) skupno analizirajući glasove 6 djevojaka i 6 mladića, te Leino (2009) u mjerenju glasova 50 mladića.

Varijable Δn računalo se prema sljedećim izrazima:

$$\begin{aligned} \text{a) } \Delta 1 &= 10 \log \frac{\overline{E}_{1-2\text{kHz}}}{\overline{E}_{0-1\text{kHz}}} \\ \text{b) } \Delta 2 &= 10 \log \frac{\overline{E}_{2-3\text{kHz}}}{\overline{E}_{0-1\text{kHz}}} \\ \text{c) } \Delta 3 &= 10 \log \frac{\overline{E}_{3-4\text{kHz}}}{\overline{E}_{0-1\text{kHz}}} \\ \text{d) } \Delta 4 &= 10 \log \frac{\overline{E}_{4-5\text{kHz}}}{\overline{E}_{0-1\text{kHz}}} \end{aligned}$$

Omjer H_1/H_2 jedina je varijabla koju se računalo iz produžene fonacije vokala /a/. Izračunat je kao

¹ Programiranje je obavio Ton Wempe, dipl. ing. sa Sveučilišta u Amsterdamu.

omjer amplituda prvoga harmonika H_1 i drugog H_2 prema izrazu:

$$H_1 / H_2 = 10 \log \frac{\overline{H_1}}{\overline{H_2}}$$

Mjerni instrumenti

Samoprocjena subjektivnih simptoma vokalnoga zamora

Za samoprocjenu subjektivnih simptoma vokalnoga zamora korišten je upitnik oblikovan za istraživanje, prilog 2. Osigurao je i temeljne podatke o ispitanicama kao što su životna dob, duljina radnog staža... Izvorno je sadržavao i druge čestice koje nisu u fokusu ovog istraživanja pa ih se u prilogu ne navodi.

Snimanje i akustička analiza glasa

Glasove se snimalo dinamičkim kardiodnim mikrofonom *Electro Voice N/D157B* i minidisk-uređajem *Sony MZ-R35*. Akustička je analiza glasa obavljena računalnim programom *PRAAT*, v. 5.2.16 (Boersma i Weenink, 2011).

Provedba istraživanja

Ispitanice su popunile upitnik kojim su prikupljeni temeljni podaci te podaci o subjektivnim simptomima vokalnoga zamora. Samoprocjenjivale su postojanje simptoma, ne i njihovu jakost. Slijedilo je pojedinačno snimanje uzoraka glasa u ugodnoj visini i glasnoći. To se obavljalo u tihim prostorijama osnovnih škola u kojima su ispitanice zaposlene, tijekom radnog vremena u jutarnjoj i poslijepodnevnoj smjeni. U jutarnjim se smjenama nikada nije snimalo na početku smjene kada glas nije zagrijan i može imati obilježja (rano)jutarnjega glasa, dok se u poslijepodnim smjenama pak nikada nije snimalo na kraju smjene čime se nastojalo izbjeći moguće posljedice akutnog vokalnog zamora. Fonirale su vokal /a/ po tri puta, a potom čitale zadani, isti tekst dva puta u trajanju od po 70-ak sekunda. Udaljenost mikrofona od usana ispitanica bila je 20 cm. Za vrijeme snimanja su sjedile. Prije provedbe akustičke analize ujednačilo se razine zvučnoga tlaka svih uzoraka produžene fonacije i govora tako da je srednja vrijednost razine zvuka iznosila 83,5 dB (0,3 Pa). Time je omogućena usporedba spektara dviju skupina nastavnica. (Rad

se ne bavi mjerenjem apsolutnih vrijednosti razina spektralne energije.) Iz stacionarnog dijela signala triju uzoraka fonacije vokala /a/ izmjeren je prosječni H_1/H_2 . Po jedan je uzorak tekućega govora trajanja 60 sekunda svake ispitanice podvrgnut analizi dugotrajnog prosječnog spektra *LTAS*-a. Analizirano je područje frekvencija 0-5 kHz po pojasevima širine 100 Hz na temelju čega su izračunate vrijednosti spektralnih varijabli ($L0$, omjer α i $\Delta 1-4$) i prosječni govorni F_0 .

Metode obrade podataka

Statistička obrada podataka provedena je primjenom statističkih paketa *R* (R Development Core Team, 2011) i *Statistica* (StatSoft, Inc., 2011). Na manifestnoj su razini izračunati osnovni deskriptivni statistički parametri. Razlike između nastavnica s vokalnim zamorom i nastavnica bez vokalnog zamora u skupu akustičkih varijabli testirane su multivarijatnom analizom varijance i univarijatnom analizom varijance za pojedinačne varijable te diskriminativnom analizom (Morrison, 1990).

REZULTATI I RASPRAVA

Temeljna statistička obrada

Skup akustičkih varijabli

U računalnom programu *PRAAT* v. 5.2.16 (Boersma i Weenink, 2011) vrijednosti su spektralnih varijabli ($L0$, α , $\Delta 1-4$ i H_1/H_2) izmjerene automatski prema algoritmima oblikovanima za potrebe istraživanja (jedino je algoritam za računanje F_0 ugrađen u program korištene inačice) i ne postoji normativ njihovih vrijednosti (razni autori iznalaze različite načine računanja raspodjele spektralne energije, spektralne ravnoteže, mjera pada spektralne energije). Stoga će se vrijednosti tih varijabli interpretirati usporedbom rezultata *BVZ* i *VZ* skupine nastavnica što i jest tema istraživanja. Podsjetiti treba na to da za zdravu kvalitetu glasa i ne postoji norma ili prosječna vrijednost spektralnog sadržaja, odnosno prosječna kontura spektralne ovojnice.

Nastavnice bez vokalnoga zamora

Temeljni statistički podaci za akustičke varijable nastavnica bez vokalnoga zamora sadržani

Tablica 4. Vrijednosti osnovnih statističkih parametara akustičkih varijabli nastavnica bez vokalnoga zamora ($N=27$)

Varijabla	Prosječna vrijednost M	Najniža vrijednost $M_{\min.}$	Najviša vrijednost $M_{\max.}$	Standardna devijacija SD
F_0	193,51	145,52	221,65	16,82
$L0$	12,01	9,87	14,53	1,17
H_1/H_2	7,22	1,46	18,91	3,52
α	-14,84	-19,88	-10,91	2,12
$\Delta 1$	-11,18	-16,80	-6,07	2,44
$\Delta 2$	-16,10	-20,47	-13,12	2,27
$\Delta 3$	-17,28	-22,18	-11,90	2,98
$\Delta 4$	-22,70	-27,92	-16,90	3,04

su u tablici 4. Govorni je F_0 niži od prosječne vrijednosti ženskoga glasa. Vrijednošću 193,51 Hz u razredu je mezzosoprana. Rezultat je gotovo istovjetan onomu koji iznose Ilomäki i sur. (2008) za skupinu 60 nastavnica prosječne dobi 42 godine i radnog staža u nastavi 16 godina zdravoga glasa (prema samoprocjeni), a to je oko 193 Hz, ili pak onomu iz istraživanja Laukkanen i sur. (2008) na uzorku 79 nastavnica jednake životne dobi koje su smatrale da nemaju poremećaj glasa²: $F_0 \approx 191$ Hz. Lyberg Åhlander i sur. (2012) izmjerili su 199 Hz kao prosječnu vrijednost govornog F_0 nastavnica bez subjektivnih vokalnih simptoma ($N=26$, $KD=45$ god.). Podudarni su i rezultati Leppänen i sur. (2009) koji su u skupini 60 nastavnica bez poremećaja glasa ($KD=40,6$ god.) izračunali prosječni F_0 190-195 Hz.³ I japanski su autori Nishio i Niimi (2008) ispitujući promjene F_0 u funkciji životne dobi na uzorku žena bez laringalne patologije i vokalnih simptoma ustanovili da u životnoj dobi od 35 do 59 godina one govore prosječnim F_0 196 Hz.

Prosječna je vrijednost H_1/H_2 $7,22 \pm 3,52$ dB što je nešto niže od vrijednosti $7,7 \pm 4,3$ dB koju su izmjerili Holmberg i sur. (1995) također u uzorku zdravih žena ($N=20$), ili pak nešto više od vrijednosti $6,81 \pm 2,87$ dB koju su utvrdili Kumar i sur. (2011) na uzorku 30 žena također zdravoga glasa životne dobi 20 do 40 godina.

Prosječna vrijednost omjera α gotovo je jednaka onoj koju iznose Ilomäki i sur. (2008) za 60 nastavnica prosječne dobi 42 godine i radnog staža u nastavi 16 godina, zdravoga glasa (prema samoprocjeni). Izmjerali su $-14,3 \pm 2,5$ dB. Leppänen i sur. (2009) utvrdili su prosječni omjer α vrijednosti od -13 do -15 dB u skupini 60 zdravih nastavnica ($KD=40,6$)⁴, a Laukkanen i sur. (2008) $-15,10 \pm 2,07$ dB na uzorku 77 nastavnica jednake životne dobi koje su svoj glas procijenile zdravim⁵ uz napomenu da se spomenuta vrijednost odnosi na uzorke govora snimane u 7,30 ujutro prije početka radne smjene.⁶ Torres da Silva i sur. (2011) također iznose sličnu prosječnu vrijednost omjera α ($-14,28 \pm 2,34$ dB) za uzorak žena prosječne dobi oko 27 godina.

Slika 1 prikazuje pojedinačne *LTAS*-e govora nastavnica bez vokalnoga zamora ucrtane u isti dijagram. Prosječan *LTAS* govora s ucrtanom regresijskom crtom pada spektralne energije po frekvencijama koja pokazuje stupanj nagiba spektralne ovojnice prikazuje dijagram na slici 2. Uz prvi spektralni vrh koji odgovara nultom formantu $F0$ uočava se i drugi spektralni vrh na oko 1,5 kHz u području $F2$. Iznad 2,5 kHz, u području viših formanta $F3$ i $F4$, spektralna je ovojnica blago uzdignuta i tvori široki klaster. Nema obilježja specijalnih formanata, primjerice govorničkog koji je

2 No, fonijatrijskim je pregledom utvrđeno da su 4 nastavnice vrlo promukle, da ih 18 ima zamjetnu promuklost, a ostale da su zdrave što upućuje na problem slabe vokalne osviještenosti tipične za većinu nastavnica.

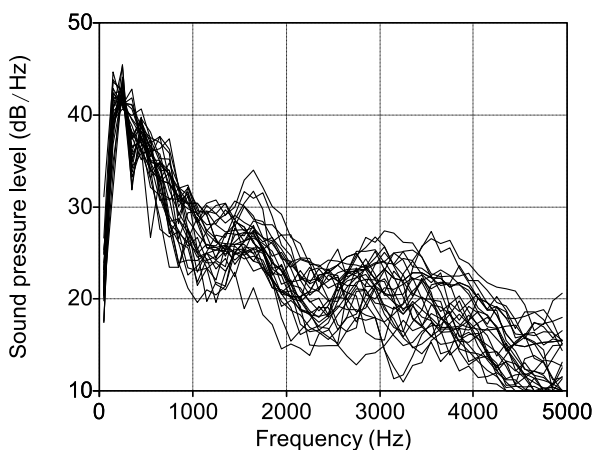
3 F_0 je iskazan rasponom 190-195 Hz jer su ga autori mjerili u dvije subskupine zdravih žena u više vremenskih točaka kako bi ispitali učinke finske metode tzv. *Vokalne masaže*TM i poduke o higijeni glasa.

4 Naveden je raspon vrijednosti, a ne prosječna vrijednost. Objašnjenje stoji u prethodnoj fusnoti.

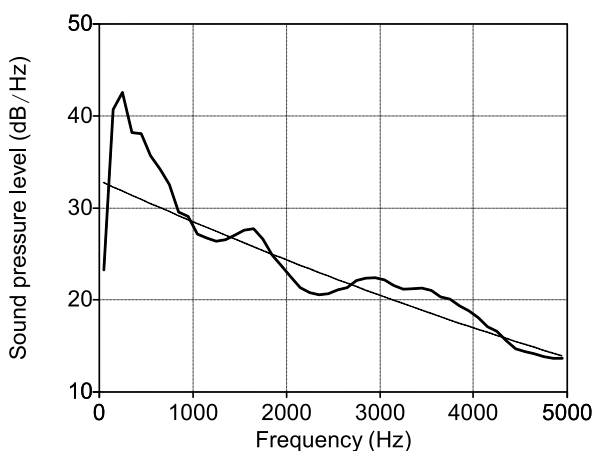
5 V. fusnotu broj 2.

6 Laukkanen i sur. (2008) su naime mjerili utjecaj radnog dana (kao vokalnog opterećenja) na glas nastavnica uspoređujući akustičke varijable, među kojima omjer α , prije i poslije radnog vremena, dok se u ovom istraživanju nije željelo snimati glasove ujutro prije početka radnog vremena zbog učinka (*rano*)jutarnjega glasa koji kod nekih ljudi ima drugačiju kvalitetu nego ugrijan *dnevni* glas.

karakteristika dobrih, kultiviranih govornih glasova. Pojedinačni su LTAS-i nastavnica bez zamora u prilogu 3.



Slika 1. Pojedinačni LTAS-i govora nastavnica bez vokalnog zamora (N=27)



Slika 2. Prosječni LTAS govora i pripadajuća regresijska crta nastavnica bez vokalnog zamora (N=27)

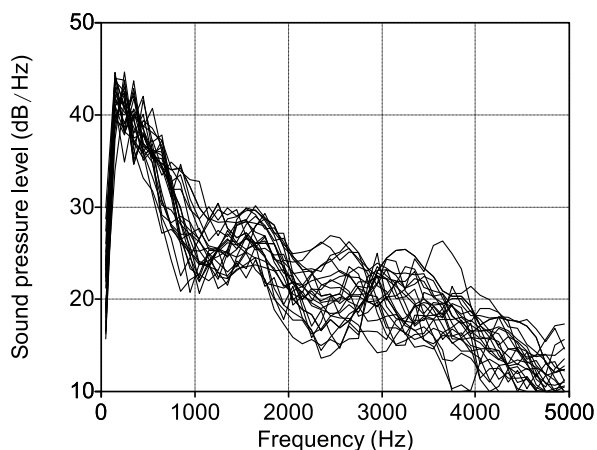
Nastavnice s vokalnim zamorom

Tablica 5 donosi temeljne statističke parametre akustičkih varijabli nastavnica s vokalnim zamorom. Ono što se najviše ističe jest vrijednost govornoga F_0 176 Hz. Bitno je ispod prosječnog raspona ženskoga glasa 200-220 Hz, tj. u rangu je vrijednosti žena starije životne dobi za koje je karakterično spuštanje F_0 uslijed vokalne, ali i opće biološke deterioracije.

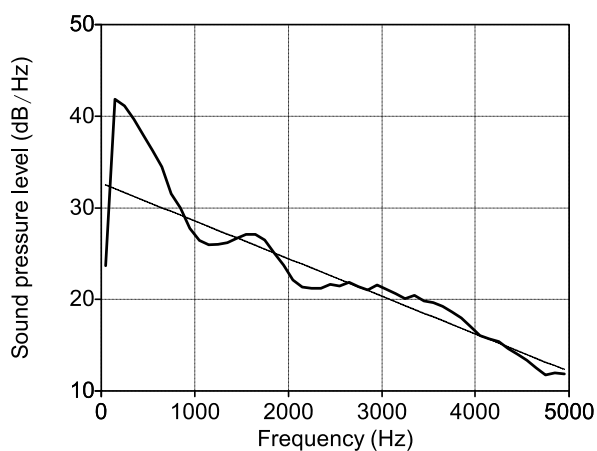
Primjerice Ma i Love (2010) su u skupini 11 žena prosječne životne dobi 70 godina izmjerile F_0 171 Hz (istodobno u 12 mladih žena prosječne dobi 25 godina 197 Hz). Torres da Silva i sur. (2011) utvrdili su u skupini 30 žena starije životne dobi (60-82 godine) prosječni govorni F_0 188,84 Hz. Nishio i Niimi (2008) izmjerili su sličnu vrijednost govornog F_0 za 55 ispitanica zdravoga glasa starijih od 60 godina, točnije 179 Hz. Budući da su nastavnice u ovom istraživanju bitno mlađe od navedenih ispitanica s kojima dijele jednake vrijednosti F_0 , nameće se zaključak da izmjerena vrijednost odražava disfunkciju. Niebudek-Bogusz i sur. (2006) također ističu da je prosječna vrijednost F_0 skupine 35 nastavnica (prosječne dobi 53,4 godine) s profesionalnim poremećajima glasa niža od prosječne vrijednosti F_0 zdravoga glasa. Za žene s vokalnim nodulima utvrdili su prosječnu vrijednost F_0 185 Hz, a za one sa sekundarnom vokalnom hipertrofijom 163 Hz. Za zdrave glasove pak ističu F_0 prosječne vrijednosti 235 Hz. Spomenuti treba i rezultate D'haeseleer i sur. (2011) koji su ispitivali akustička obilježja glasa žena u predmenopauzi (N=22, KD=48 god.). Utvrdili su, uz ostalo, prosječni F_0 184 Hz, što je bitno niže od rezultata BVZ skupine mladih žena (N=22, KD=22 god.) za koje je izmjeren prosječni F_0 200 Hz. Valja dodati da su

Tablica 5. Vrijednosti osnovnih statističkih parametara akustičkih varijabli nastavnica s vokalnim zamorom (N=23)

Varijabla	Prosječna vrijednost M	Najniža vrijednost M_{\min}	Najviša vrijednost M_{\max}	Standardna devijacija SD
F_0	175,88	147,60	222,18	20,96
$L0$	12,00	9,49	14,05	1,16
H_1/H_2	6,52	1,26	12,41	3,38
α	-15,34	-18,66	-12,10	1,78
$\Delta 1$	-11,51	-14,78	-7,91	1,98
$\Delta 2$	-16,32	-19,64	-11,84	2,16
$\Delta 3$	-18,27	-22,49	-13,27	2,36
$\Delta 4$	-23,86	-28,01	-20,58	2,36

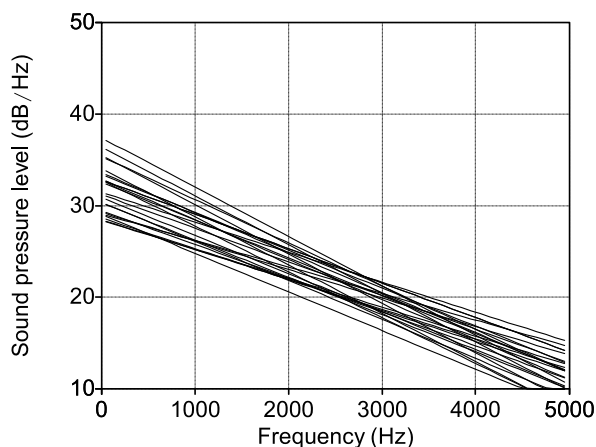
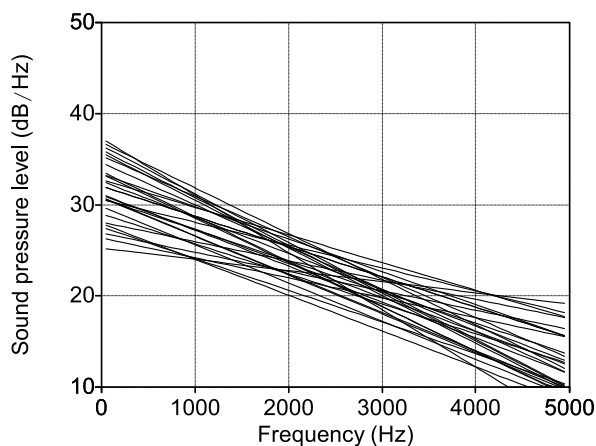


Slika 3. Pojedinačni LTAS-i govora nastavnica s vokalnim zamorom ($N=23$)



Slika 4. Prosječni LTAS govora i pripadajuća regresijska crta nastavnica s vokalnim zamorom ($N=23$)

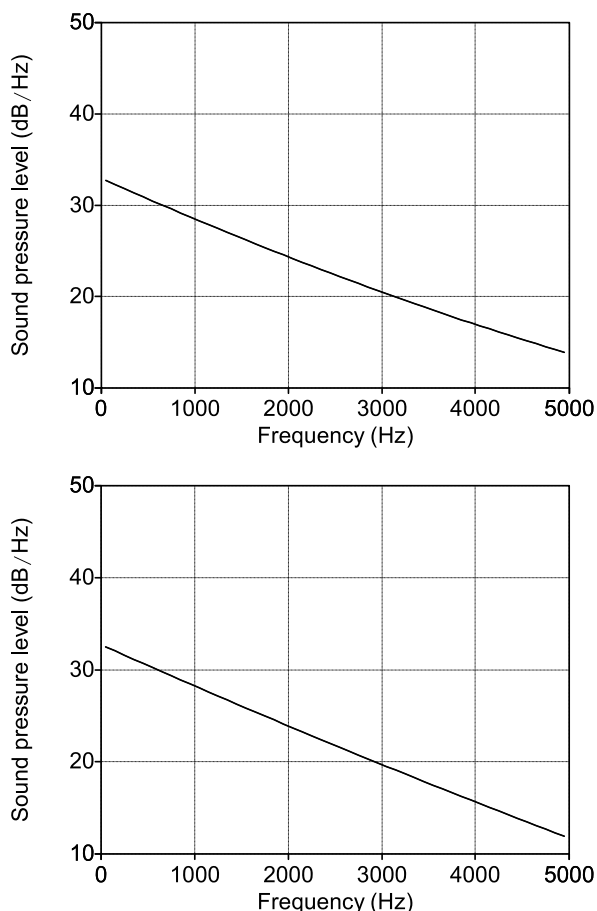
u istraživanje bile uključene žene dobrog vokalnog i općeg zdravstvenog statusa. I Ferrand (2002) je, doduše na malim uzorcima (3 skupine po 14 ispitanica), utvrdila prosječni F_0 žena starijih od 70 godina 175 Hz, a mladih (KD, raspon=21-34 god.) i onih u srednjoj dobi (KD, raspon=40-63 god.) 210 Hz, odnosno 205 Hz. Na temelju navedenih podataka, razvidno je da vrijednost prosječnog F_0 nastavnica s vokalnim zamorom ovog istraživanja odražava vokalno opterećenje profesije i posljedice promjene glasa uslijed vokalnog zamora koji ističu nizom simptoma, uz ostalo i produbljenim glasom. U skupini nastavnica VZ, deset (43,5%) ih je istaknulo da ima “glas dublji nego inače”, dok su u skupini nastavnica BVZ o istom simptomu izvijestile samo 3 ispitanice (11,1%).



Slika 5. Nagibi spektralnih ovojnica prikazani regresijskim crtama i ucrtani u jedan dijagram: nastavnica bez vokalnoga zamora (gore) i nastavnica s vokalnim zamorom (dolje)

Slika 3 prikazuje pojedinačne LTAS-e govora nastavnica s vokalnim zamorom, a slika 4 njihov uprosječen dugotrajni prosječni spektar LTAS-a i pripadajuću regresijsku crtu koja obaviještava o nagibu spektralne ovojnice. Spektrom dominira prvi spektralni vrh u području F_0 . Uočava se i drugi spektralni vrh u području F_2 , dok u području frekvencija iznad 2 kHz spektralna ovojnica nema markantnih uzdignuća. Pojedinačni su LTAS-i ovih nastavnica u prilogu 4.

Slike 5 prikazuje pojedinačne nagibe spektralnih ovojnica ucrtane u isti dijagram: nastavnica VZ i nastavnica BVZ, a slika 6 prosječan nagib spektralne ovojnice svake spomenute skupine. Usporednom analizom dijagrama uočava se da su rezultati nastavnica s vokalnim zamorom (VZ) manje raspršeni (što upućuje na sužavanje vokalnog)



Slika 6. Prosječan nagib spektralne ovojnice prikazan regresijskom crtom: nastavnica bez vokalnoga zamora (gore) i nastavnica s vokalnim zamorom (dolje)

nog profila, manje bogatstvo kvalitete glasa) te da je prosječno opadanje spektralne energije veće nego u nastavnicama bez zamora (BVZ), no jesu li te razlike i statistički značajne?

Tablica 6. Univarijatne analize varijance akustičkih varijabli nastavnica bez vokalnoga zamora (BVZ) i nastavnica s vokalnim zamorom (VZ)

Varijabla	BVZ, N=27		VZ, N=23		Wilksova λ	F-omjer	DF		p
	M	SD	M	SD			1	2	
F_0	193,51	16,82	175,88	10,884	0,815	10,884	1	48	0,002
$L0$	12,01	1,17	12,00	0,000	1,000	0,000	1	48	0,992
H_1/H_2	7,22	3,52	6,51	0,521	0,989	0,521	1	48	0,474
α	-14,84	2,12	-15,34	0,815	0,983	0,815	1	48	0,371
$\Delta 1$	-11,18	2,44	-11,51	0,267	0,994	0,267	1	48	0,608
$\Delta 2$	-16,10	2,27	-16,32	0,113	0,998	0,113	1	48	0,738
$\Delta 3$	-17,28	2,98	-18,27	1,674	0,966	1,674	1	48	0,202
$\Delta 4$	-22,70	3,04	-23,86	2,210	0,956	2,210	1	48	0,144

M=aritmetička sredina, SD=standardna devijacija, DF=stupnjevi slobode, p=vjerojatnost.

Varijable na kojima se skupine nastavnica statistički značajno razlikuju istaknute su sivom pozadinom.

Testiranje značajnosti razlika u prostoru akustičkih varijabli između nastavnica bez vokalnoga zamora i nastavnica s vokalnim zamorom

Budući da se vokalni zamor opisuje nizom vokalnih simptoma, razumnim se čini očekivati njegove manifestacije i u akustičkim veličinama glasa što je izraženo u postavljenoj hipotezi istraživanja. Provjerena je multivarijatnom statističkom analizom varijance. Pokazala je da ne postoji statistički značajna razlika u skupu akustičkih varijabli između skupina [$F(8,41)=1,635$; $p=0,145$]. Rezultati univarijatnih analiza varijanci (Tablica 6) pokazali su statistički značajnu razliku samo na jednoj varijabli. To je govorni F_0 [$F(1,48)=10,884$; $p=0,002$], akustička veličina čija je vrijednost u skupini nastavnica s vokalnim zamorom bitno niža nego u nastavnicama bez vokalnoga zamora.

Zaključuje se da od svih mjerenih akustičkih varijabli jedino govorni F_0 oštro razlikuje skupine. Niska vrijednost F_0 dakle odražava vokalni zamor u skupini VZ i može se smatrati njegovom akustičkom značajkom. To je u skladu i s rezultatima samoprocjene simptoma vokalnoga zamora. U skupini VZ je 10 nastavnica (43,5%) istaklo da im je glas dublji nego inače, dok su u skupini BVZ o istoj smetnji izvijestile samo 3 ispitanice (11,1%), v. prilog 1.

Hipoteza je testirana i kanoničkom diskriminativnom analizom. Željelo se razlučiti diskriminacijske varijable prema kojima se skupine nastavnica najviše razlikuju, odnosno utvrditi je li diskriminativna funkcija kao linearna kombinacija diskriminacijskih varijabli dobar klasifikator

skupina nastavnica što će pokazati i prosjeci diskriminativnih skorova skupina, centriodi. Rezultat spomenute obrade i centriodi skupina nastavnica na diskriminativnoj funkciji prikazani su u tablici 7. Izolirana diskriminativna funkcija nema diskriminativnu snagu ($p=0,143$).

Tablica 7. Diskriminativna funkcija za skup akustičkih varijabli i centriodi skupina nastavnica bez vokalnoga zamora BVZ i s vokalnim zamorom VZ

Funkcija		1
Svojevredna vrijednost		0,319
Varijanca, %		100
Kanonička korelacija		0,492
Wilksova λ		0,758
χ^2		12,183
DF1		8
DF2		41
p		0,143
Centriodi	BVZ	0,511
	VZ	-0,600

Budući da je analiza varijance pokazala da je F_0 značajan pojedinačni diskriminator, ne čudi da u strukturi matrice dobivene funkcije (iako statistički nije značajna) spomenuta varijabla jedina ima visoko opterećenje (Tablica 8). S obzirom na iznesene rezultate statističkih obrada, postavljena se hipoteza odbacuje.

Tablica 8. Standardizirani koeficijenti varijabli kanoničke diskriminativne funkcije C i struktura kanoničke diskriminativne funkcije S

Varijabla	Diskriminativna funkcija	
	C	S
F_0	1,063	0,874
$L0$	-0,099	0,003
H_1/H_2	-0,014	0,211
α	2,222	0,263
$\Delta 1$	-2,164	0,151
$\Delta 2$	-0,087	0,099
$\Delta 3$	-0,533	0,373
$\Delta 4$	0,166	0,427

Visoka su opterećenja ($r>0,30$) istaknuta masnim znakovljenjem.

Niti Lyberg Åhlander i sur. (2012) nisu pronašli razlike u spektralnim karakteristikama glasa temeljenima na analizi LTAS-a, omjeru α i spektralnoj energiji područja viših frekvencija 5-8 kHz, no niti

u fonetogramu i vrijednosti prosječnog F_0 između nastavnica bez vokalnih smetnji ($N=26$, $KD=45$) i onih sa smetnjama ($N=26$, $KD=49$). Treba pripomenuti da je njihov kriterij formiranja skupina bila (samo)procjena izjave: “Imam problema s glasom.”. U skupinu bez vokalnih smetnji uvrstili su one ispitanice koje nemaju problema s glasom ili se spomenuti problemi pojavljuju vrlo rijetko, dok su skupinu s vokalnim smetnjama tvorile one nastavnice koje katkad, često ili uvijek imaju vokalne simptome.

Moglo bi se promišljati bi li razlike između skupina bile veće i statistički značajne da su u skupini BVZ bile nastavnice bez ijednog simptoma zamora. Podsjetiti treba na to da su skupinu BVZ činile i one s jednim do dva simptoma, što nije neuobičajena praksa formiranja uzoraka ispitanika u istraživanjima ovog tipa (npr. Rantala i Vilkmann, 1999). Ovdje je takva podjela učinjena nakon obuhvata nastavnica koje su bile zainteresirane sudjelovati u istraživanju, dakle, nije se znalo koliko će ih biti bez subjektivnih simptoma, niti se ciljano tražilo nastavnice bez ijednog simptoma vokalnoga zamora. Takva bi potraga bila teška jer je uistinu malo nastavnica koje bi zanijkale ijedan vokalni simptom. Uzorak je ispitanica-nastavnica bio prigodan uz napomenu da se kontaktiralo desetak osnovnih škola iz područja grada Zagreba od kojih je odabrano pet (kriterij je bila raspoloživost postorije u kojoj se glasove može snimati kvalitetno), a koje su god nastavnice tih škola iskazale želju za sudjelovanjem u istraživanju, uključene su u nj (samo je jedna nastavnica bila isključena zbog dijagnoze unilateralne paralize glasnica i teške disfonije). Od pedeset nastavnica koje su se odazvale, samo 6 ih je prema rezultatima samoprocjene vokalnih simptoma bilo zdravoga glasa, odnosno bez ijednog simptoma vokalnoga zamora. Analiza (poglavito multivarijatna) na tako maloj skupini ne bi bila smisljena. Zbog toga je spomenuta skupina proširena i na one nastavnice koje iskazuju tek mali broj simptoma – jedan do dva, što se može smatrati gotovo normalnim statusom. Tako formiranu skupinu nastavnica “gotovo bez vokalnoga zamora” u radu se radi preglednosti nazivalo “skupinom bez vokalnoga zamora”.

ZAKLJUČAK

Vokalni se zamor temelji na samopercepciji povećanog laringalnog naprežanja i promjena

kvalitete glasa. Može imati organsku i/ili funkcionalnu etiologiju: organska uključuje morfološke promjene koje izravno utječu na mehanizam fonacije (edemi i sl.), dok je u temelju funkcionalne neučinkovita upotreba glasa koja utječe kako na fonaciju, tako i na fiziologiju (McCabe i Titze, 2002). Pritom promjene mehanizma fonacije ne moraju biti čujne pa se postavlja pitanje mogu li ih dohvatiti sofisticirani alati akustičke analize i o kakvim je akustičkim značajkama riječ? Bio je to glavni motiv ovog istraživanja provedenog na uzorku nastavnica čije zanimanje predstavlja plodno tlo za pojavu i razvoj vokalnoga zamora budući da se temelji na vokalnom predoziranju i foniranju povišenim glasom. Utvrđivanje akustičkih značajki vokalnoga zamora omogućilo bi njegovo rano otkrivanje te pravovremenu, ranu intervenciju.

Postavljena je hipoteza prema kojoj postoje značajne razlike u akustičkim varijablama glasa između nastavnica s vokalnim zamorom ($N=23$) i nastavnica bez vokalnoga zamora ($N=27$). Njihovi su glasovi (tekući govor i produžena fonacija vokala /a/) akustički analizirani u programu *PRAAT*. Skup akustičkih varijabli izmjerenih iz uzoraka govora sačinjavali su prosječni govorni F_0 i niz spektralnih veličina izmjerenih iz *LTAS*-a govora: jakost najjačeg spektralnog vrha $L0$, omjer α te varijable $\Delta 1$, $\Delta 2$, $\Delta 3$ i $\Delta 4$ koje iskazuju omjer spektralnih energija područja viših frekvencija i to pojaseva 1-2 kHz, 2-3 kHz, 3-4 kHz i 4-5 kHz i referentnog područja frekvencija 0-1 kHz. Računao se i prosječni H_1/H_2 iz harmoničkog spektra triju uzoraka produžene fonacije vokala /a/. Hipoteza je testirana multivarijatnom i univarijatnim analizama varijance te diskriminativnom analizom.

Rezultati obrada pokazali su da ne postoje statistički značajne razlike u skupu akustičkih varijabli između skupina nastavnica. Postavljena je hipoteza odbačena. Međutim, kao pojedinačni se diskriminator izdvojio govorni F_0 , veličina koja se pokazuje osjetljivom i u mjerenjima učinaka kratkotrajnog vokalnog opterećenja (npr. Lehto i sur., 2006; Laukkanen i sur., 2004a; Kovačić i sur., 2000; Rantala i sur., 1998). Prosječni je F_0 skupine BVZ 194 Hz, a skupine VZ 176 Hz. Posljednji je u rangu vrijednosti žena starije životne dobi ili pak onih s poremećajem glasa, što vokalni zamor jest. Ovaj nalaz usklađen je sa samoprocjenom simpto-

ma vokalnoga zamora. Naime, gotovo svaka druga nastavnica sa zamorom istakla je produbljen glas kao subjektivnu smetnju.

Budući da je promuklost uobičajena subjektivna smetnja vokalnoga zamora, što je pokazalo i ovo istraživanje, vjerovalo se da će se odraziti na oblik spektralne ovojnice, te da će hipoteza biti potvrđena. No to se nije dogodilo. Moguće je da simptomi vezani za glas nisu bili dovoljno jaki da bi ih se akustički detektiralo. Može se postaviti i pitanje o formiranju skupina ispitanica koje se uspoređivalo: bi li rezultati bili drugačiji da se skupina nastavnica bez vokalnoga zamora iznimno strogo formirala, tj. da su u nju uključene samo nastavnice bez ijednog simptoma. Takve je, doduše, teško pronaći (ovdje ih je detektirano samo šest), a dodatni je problem i činjenica da samoprocjena u kojoj se negira postojanje vokalnih simptoma ne znači da vokalnih problema u smislu akustičke manifestacije nema. Taj nesklad proizlazi iz slabe vokalne osviještenosti. Nadalje, treba podsjetiti i na utvrđen omjer vokalnih i tjelesnih simptoma koji možda najsnažnije objašnjava nepostojanje jasne akustičke slike glasova sa zamorom: u skupini VZ ustanovljen je omjer 55%:45%, a u skupini BVZ 43%:57%, dakle, gotovo je jednak broj vokalnih i tjelesnih simptoma. To uistinu komplicira akustičko mjerenje vokalnoga zamora (tjelesni će se simptomi vokalnoga zamora teško odraziti na kvalitetu akustičkoga signala glasa) jer akustička analiza nije alat koji može izmjeriti “osjećaj nečega” (boli i sličnih neugodnih senzacija) u grlu ili ostalim dijelovima tijela. Jasno to ističe Kotby (1995) kada izvještava o slučajevima vokalnoga zamora kod kojih se laringoskopskim pregledom ne uočavaju bitne morfološke promjene na larinksu zaključujući da se radi o “disfoniji” koju pacijent više osjeća u grlu nego što je čuje u vlastitu glas. I Vilkmanovo (2004) isticanje vokalnoga zamora kao subjektivne pojave, nečega što pobuđuje neugodne senzacije vezane za fonaciju ne djeluje ohrabrujuće kada je riječ o fonometriji vokalnoga zamora.

Razmišljajući o dobivenim vrijednostima spektralnih varijabli, zamisao o mjerenju drugih veličina zavređuje pozornost. Bi li rezultati bili drugačiji da se proširilo ukupno područje frekvencija koje se analiziralo, da se uvelo više varijabli Δ koje bi kao područja viših frekvencija koja se uspoređu-

je s referentnim područjem (0-1 kHz) uključivalo pojaseve 5-6 kHz, 6-7 kHz, 7-8 kHz, 8-9 kHz, 9-10 kHz? Naime, eksperimenti su pokazali da područja tako visokih frekvencija oštro diskriminiraju disfonične šumne glasove od zdravih. Shoji i sur. (1992) kao kritično ističu područje oko 6 kHz, Rihkanen i sur. (1994) područje oko 8 kHz, a Naranjo i sur. (1994) idu korak dalje iznalazeći da se zdravi i promukli glasovi umnogome razlikuju ne samo u području 6-10 kHz, nego čak i u području 10-16 kHz. U tom dijelu spektra nalaze da su promukli glasovi pojačani. Izneseno upućuje na to da postoje mjerljive promjene kvalitete glasa uslijed vokalnoga zamora i tu bi zamisao valjalo provjeriti analizom šireg područja frekvencija.

Zaključak je ovoga rada da je akustička značajka vokalnoga zamora ispodprosječna vrijednost govornoga F_0 , no i da akustička analiza govora primjenom metode *LTAS*, učinjena za područje frekvencija 0-5 kHz, ne može detektirati vokalni zamor. Nadalje, akustička mjerenja vokalnoga zamora treba nastaviti s ciljem iznalaženja najosjetljivijih akustičkih veličina ili baterije fonometrijskih testova koja će tu pojavu uspješno

detektirati. A do tada, ili prije svega, treba (početi) raditi na osvještavanju i prevenciji tog profesionalnog problema uvođenjem vokalne edukacije u obrazovanje svih budućih vokalnih profesionalaca. Vokalna je osviještenost osobit problem (Kovacic, 2005). Činjenica je da upravo zbog vokalne neosviještenosti i neznanja mnogi vokalni profesionalci ne registriraju vlastite promjene kvalitete glasa i/ili ih zanemaruju. Pokazalo je to primjerice istraživanje De Jonga i sur. (2003) u kojem je temeljem tzv. psihološkoga kaskadnog modela otkriveno 39% nastavnika nesvjesnih vlastitog poremećaja glasa od ukupno 76 ispitanih. Laukkanen i sur. (2008) su pak na uzorku 79 nastavnica, koje su vlastiti glas smatrale zdravim, fonijatrijskim pregledom dijagnosticirali 4 vrlo promukle nastavnice i 18 nastavnica sa zamjetnom promuklošću. Uz vokalno osvještavanje, nastavnicima i drugim vokalnim profesionalcima potrebna su temeljna znanja o organima za proizvodnju glasa, pravilnom korištenju glasa, brizi za glas, metodama samopomoći, obaviještenost o tome komu se obratiti kada se pojave prvi vokalni simptomi i vježbe za glas.

LITERATURA:

- Bele, I. V. (2005): Reliability in perceptual analysis of voice quality. *Journal of Voice* 19, 4, 555-573.
- Blaži, D., Heđever, M. (2010): Somatske teškoće kao indikatori stresa i teškoće glasa kod odgojiteljica i nastavnika. *Hrvatska revija za rehabilitacijska istraživanja* 46, 2, 19-33.
- Boersma, P., Weenink, D. (2011): PRAAT – doing phonetics by computer [računalni program]. Version 5.2.16, URL: <http://www.praat.org/>
- D'haeseleer, E. Depypere, H., Claeys, S., Wuyts, F. L., Baudonck, N., Van Lierde, K. M. (2011): Vocal characteristics of middle-aged premenopausal women. *Journal of Voice* 25, 3, 360-366.
- De Jong, F. I. C. R. S., Cornelis, B. E., Wuyts, F. L., Kooijman, P. G. C., Schutte, H. K., Oudes, M. J., Graamans, K. (2003): A psychological cascade model for persisting voice problems in teachers. *Folia Phoniatica Et Logopaedica* 55, 2, 91-101.
- Dejonckere, P. H., Bradley, P., Clemente, P., Cornut, G., Crevier-Buchman, L., Friedrich, G., Van de Heyning, P., Remacle, M., Woisard, V. (2001): A basic protocol for functional assessment of voice pathology, especially for investigating the efficacy of (phonosurgical) treatments and evaluating new assessment techniques – guideline elaborated by the Committee on phoniatrics of the European laryngological society (ELS). *European Archives of Otorhinolaryngology* 258, 2, 77-82.
- Eadie, T. L., Doyle, P. C. (2005): Classification of dysphonic voice: acoustic and auditory-perceptual measures. *Journal of Voice* 19, 1, 1-14.
- Eustace, C. S., Stemple, J. C., Lee, L. (1996): Objective measures of voice production in patients complaining of laryngeal fatigue. *Journal of Voice* 10, 2, 146-154.
- Ferrand, C. T. (2002): Harmonics-to-noise ratio: an index of vocal aging. *Journal of Voice* 16, 4, 480-487.
- Fourcin, A., Abberton, E. (2008): Hearing and phonetic criteria in voice measurement: clinical applications. *Logopedics – Phoniatics – Vocology* 33, 1, 35-48.
- Frøkjær-Jensen, B., Prytz, S. (1976): Registration of voice quality. *Bruel & Kjør Technical Review* 3, 3-17.
- Halberstam, B. (2004): Acoustic and perceptual parameters relating to connected speech are more reliable measures of hoarseness than parameters relating to sustained vowels. *ORL – Journal for Oto-Rhino-Laryngology & its Related Specialties* 66, 2, 70-73.
- Holmberg, E. B., Hillman, R. E., Perkel, J. S., Guiod, P. C., Goldman, S. L. (1995): Comparison among aerodynamic, elektrogloptografic, and acoustic spectral measures of female voice. *Journal of Speech and Hearing Research* 38, 6, 1212-1223.
- Hunter, E. J., Titze, I. R. (2009): Quantifying vocal fatigue recovery: dynamic vocal recovery trajectories after a vocal loading exercise. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology* 118, 6, 449-460.
- Ilomäki, I., Laukkanen, A.-M., Leppänen, K., Vilkmán, E. (2008): Effects of voice training and voice hygiene education on acoustic and perceptual speech parameters and self-reported vocal well-being in female teachers. *Logopedics – Phoniatics – Vocology* 33, 2, 83-92.
- Ilomäki, I., Leppänen, K., Kleemola, L., Tyrmi, J., Laukkanen, A.-M., Vilkmán, E. (2009): Relationships between self-evaluations of voice and working conditions, background factors, and phoniatic findings in female teachers. *Logopedics – Phoniatics – Vocology* 34, 1, 20-31.
- Jackson, C. (1940): Myasthenia laryngis – observations on the larynx as an air column instrument. *Archives of Otolaryngology – Head & Neck Surgery* 32, 3, 434-464.
- Johnson, A. F. (1994): Disorders of speaking in the professional voice user. U: Benninger, M. S., Jacobson, B. H., Johnson, A. F. (ur.): *Vocal arts medicine – the care and prevention of professional voice disorders*. Thieme Medical Publishers, Inc., New York, 153-163.

- Kapec, K., Kovačić, G. (2010): Vokalno opterećenje: samoprocjena i akustički parametri glasa prije i poslije 45-minutnog čitanja povišenim glasom. U: Mildner, V., Liker, M. (ur.): *Proizvodnja i percepcija govora*, Odsjek za fonetiku Filozofskog fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Odjel za fonetiku Hrvatskog filološkog društva, FF-press, Zagreb, 58-72.
- Kitch, J. A., Oates, J. (1994): The perceptual features of vocal fatigue as self-reported by a group of actors and singers. *Journal of Voice* 8, 3, 207-214.
- Kitch, J. A., Oates, J., Greenwood, K. (1996): Performance effects on the voices of 10 choral tenors: acoustic and perceptual findings. *Journal of Voice* 10, 3, 217-227.
- Kostyk, B. E., Rochet, A. P. (1998): Laryngeal airway resistance in teachers with vocal fatigue: a preliminary study. *Journal of Voice* 12, 3, 287-299.
- Kotby, M. N. (1995): *The Accent method of voice therapy*. Singular Publishing Group, Inc., San Diego, California.
- Kovacic, G. (2005): Voice education in teacher training: an investigation into the knowledge about the voice and voice care in teacher-training students. *Journal of Education for Teaching* 31, 2, 87-97.
- Kovačić, G. (2002): Utjecaj radnog dana na glas profesionalnih plesača-pjevača: akustička analiza glasa prije i poslije radnog vremena. *Hrvatska revija za rehabilitacijska istraživanja* 38, 2, 145-158.
- Kovačić, G. (2003): Subjective voice complaints among schoolteachers. Symposium book *De stem in het onderwijs – multidimensionaal-multidisciplinair*. UMC St Radboud, Nijmegen, 99-111.
- Kovačić, G., Heđever, M. i Buđanovac, A. (2000): Utjecaj vokalne probe na akustičke karakteristike glasa profesionalnih pjevačica. *Hrvatska revija za rehabilitacijska istraživanja* 36, 2, 137-144.
- Kumar, B. R., Bhat, J. S., Mukhi, P. (2011): Vowel harmonic amplitude differences in persons with vocal nodules. *Journal of Voice* 25, 5, 559-561.
- Laukkanen, A.-M., Ilomäki, I., Leppänen, K., Vilkmán, E. (2008): Acoustic measures and self-reports of vocal fatigue by female teachers. *Journal of Voice* 22, 3, 283-289.
- Laukkanen, A.-M., Järvinen, K., Artkoski, M., Waaramaa-Mäki-Kulmala, T., Kankare, E., Sippola, S., Syrjä, T. i Salo, A. (2004a): Changes in voice and subjective sensations during a 45-min vocal loading test in female subjects with vocal training. *Folia Phoniatria et Logopaedica* 56, 6, 335-346.
- Laukkanen, A.-M., Syrjä, T., Laitala, M., Leino, T. (2004b): Effects of two-month vocal exercising with and without spectral biofeedback on student actors' speaking voice. *Logopedics – Phoniatics – Vocology* 29, 2, 66-76.
- Lauri, E.-R., Alku, P., Vilkmán, E., Sala, E., Sihvo, M. (1997): Effects of prolonged oral reading on time-based glottal flow waveform parameters with special reference to gender differences. *Folia Phoniatria et Logopaedica* 49, 5, 234-246.
- Lehto, L., Laaksonen, L., Vilkmán, E., Alku, P. (2006): Occupational voice complaints and objective acoustic measurements – do they correlate? *Logopedics – Phoniatics – Vocology* 31, 4, 147-152.
- Leino, T. (2009): Long-term average spectrum in screening of voice quality in speech: untrained male university students. *Journal of Voice* 23, 6, 671-676.
- Leppänen, K., Laukkanen, A.-M., Ilomäki, I., Vilkmán, E. (2009): A comparison of the effects of Voice massageTM and voice hygiene lecture on self-reported vocal well-being and acoustic and perceptual speech parameters in female teachers. *Folia Phoniatria et Logopaedica* 61, 4, 227-238.
- Lyberg Åhlander, V., Rydell, R., Löfqvist, A. (2012): How do teachers with self-reported voice problems differ from their peers with self-reported voice health? *Journal of Voice* 26, 4, 149-161.
- Ma, E. P.-M., Love, A. L. (2010): Electrolottographic evaluation of age and gender effects during sustained phonation and connected speech. *Journal of Voice* 24, 2, 146-152.
- Maryn, Y., Corthals, P., Van Cauwenberge, P., Roy, N., De Bodt, M. (2010): Toward improved ecological validity in the acoustic measurement of overall voice quality: combining continuous speech and sustained vowels. *Journal of Voice* 24, 5, 540-555.

- McCabe, D. J., Titze, I. R. (2002): Chant therapy for treating vocal fatigue among public schoolteachers: a preliminary study. *American Journal of Speech-Language Pathology* 11, 356-369.
- Morrison, D. F. (1990): *Multivariate statistical methods*, 3. izdanje. McGraw-Hill, Inc., New York.
- Munier, C., Farrell, R. (2016): Working conditions and workplace barriers to vocal health in primary school teachers. *Journal of Voice* 30, 1, 127.e31-127.e41. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvoice.2015.03.004>
- Naranjo, N. V., Mendoza Lara, E., Rodríguez, I. M., Carballo García, G. (1994): High-frequency components of normal and dysphonic voice. *Journal of Voice* 8, 2, 157-162.
- Niebudek-Bogusz, E., Fiszler, M., Kotylo, P., Sliwinska-Kowalska, M. (2006): Diagnostic value of voice acoustic analysis in assessment of occupational voice pathologies in teachers. *Logopedics – Phoniatics – Vocology* 31, 3, 100-106.
- Nishio, M., Niimi, N. (2008): Changes in speaking fundamental frequency characteristics with aging. *Folia Phoniatica et Logopaedica* 60, 3, 120-127.
- Novak, A., Dlouha, O., Capkova, B., Vohradnik, M. (1991): Voice fatigue after theater performance in actors. *Folia Phoniatica* 43, 2, 74-78.
- R Development Core Team (2011): *R – a language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. URL: <http://www.R-project.org/> (pristupljeno i arhivirano 3. veljače 2012.)
- Rantala, L., Paavola, L., Körkkö, P., Vilkmán, E. (1998): Working-day effects on the spectral characteristics of teaching voice. *Folia Phoniatica et Logopaedica* 50, 4, 205-211.
- Rantala, L., Vilkmán, E. (1999): Relationship between subjective voice complaints and acoustic parameters in female teachers' voices. *Journal of Voice* 13, 4, 484-495.
- Rihkanen, H., Leinonen, L., Hiltunen, T., Kangas, J. (1994): Spectral pattern recognition of improved voice quality. *Journal of Voice* 8, 4, 320-326.
- Schaeffer, N., Sidavi, A. (2010): Toward a more quantitative measure to assess severity of dysphonia: preliminary observations. *Journal of Voice* 24, 5, 556-563.
- Shoji, K., Regenbogen, E., Daw Yu, J., Blaugrund, S.M. (1992): High-frequency power ration of breathy voice. *Laryngoscope* 102, 3, 267-271.
- StatSoft, Inc. (2011): *Electronic statistics textbook*. StatSoft, Tulsa. URL: <http://www.statsoft.com/textbook/> (pristupljeno i arhivirano 3. veljače 2012.)
- Torres da Silva, P., Master, S., Andreoni, S., Pontes, P., Ramos, L. R. (2011): Acoustic and long-term average spectrum measures to detect vocal aging in women. *Journal of Voice* 25, 4, 411-419.
- Vilkmán, E. (2004): Occupational safety and health aspects of voice and speech professions. *Folia Phoniatica et Logopaedica* 56, 4, 220-253.
- Welham, N. V., Maclagan, M. A. (2004): Vocal fatigue in young trained singers across a solo performance: a preliminary study. *Logopedics Phoniatics Vocology* 29, 1, 3-12.
- Zehmisch, H., Siegert, C., Wendler, J. (1979): *Deutschland bis 1945*. U: Wendler, J. (ur.): *75 Jahre Phoniatrie, Festschrift zu Ehren von Hermann Gutzmann, sen., Humboldt-Universität, Berlin*, 11-27.

NAPOMENA:

Autorice se zahvaljuju britanskoj zakladi *Frankopan* koja je stipendiravši prvu autoricu omogućila provedbu istraživanja.

ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF VOCAL FATIGUE

Summary: *Vocal fatigue is characterized by self-perceived increased laryngeal strain and voice quality changes. The condition can have organic or/and functional causes. Typically, it affects vocal professionals, and teachers are most numerous among them. Despite great number of studies, many questions about vocal fatigue such as its acoustic characteristics are still open. The hypothesis of the present study conducted on female teachers was that there are significant differences in acoustic variables between vocally fatigued teachers (N=23) and teachers without it (N=27). Running speech and prolonged phonation of the vowel /a/ were analyzed in PRAAT software calculating the long-term average speech spectrum LTASS and harmonic spectrum. The average speech F_0 and series of spectral variables were calculated: the strength of the strongest spectral peak L_p , the α ratio of the level difference above and below 1 kHz for the 0-5 kHz range analyzed, and the variables $\Delta 1$, $\Delta 2$, $\Delta 3$ and $\Delta 4$ showing the ratios of the respective spectral energy bands of 1-2 kHz, 2-3 kHz, 3-4 kHz and 4-5 kHz relative to the 0-1 kHz reference. The average H_1/H_2 ratio based on harmonic spectrum of three samples of the prolonged vowel /a/ production was calculated as well. The hypothesis was tested by multivariate and univariate analyzes of variance and discriminant analysis. The results showed that there are no significant differences in the set of acoustic variables between the two teacher groups, thus the hypothesis was rejected. However, the average speech F_0 showed to be strong single discriminator. Its mean value in the group of teachers with vocal fatigue, that is 176 Hz, suggests dysfunction. Several factors may explain the absence of acoustic differences between the two groups, one of the most compelling of which is the fact that both groups reported similar numbers of subjective vocal and physical complaints. The results confirm the complex phenomenology of vocal fatigue syndrome, and suggest that acoustic analysis may have limited power to detect it.*

Key words: vocal fatigue, acoustic analysis, long-term average spectrum LTAS, speech F_0 , teachers

PRILOG 1

Tablica 1. Suma opservacija subjektivnih simptoma vokalnoga zamora u skupini nastavnica BVZ (N=27) i skupini nastavnica VZ (N=23)

Subjektivni simptomi vokalnoga zamora		BVZ	VZ
Vokalni simptomi	promuklost (hrapav glas)	5	16
	slab (tih) glas	1	3
	gubitak glasa	0	5
	nestabilan glas (s promjenama visine)	1	6
	glas dublji nego inače	3	10
	glas viši nego inače	0	0
	pucanje glasa	0	7
	šuman glas	1	0
Tjelesni simptomi	neugodan osjećaj u grlu i vratu (bol, napetost...)	1	11
	suhoća grla	9	9
	bol ili osjećaj zategnutosti i stisnutosti grla	2	4
	kratak dah	2	3
	poteškoće u održanju dovoljno glasnoga glasa	2	5
	potreba za kašljanjem zbog nadražnosti grla	3	14
	bol prilikom gutanja	0	2
Vokalni simptomi	Ukupan broj	13	52
	Prosječan broj	0,48	2,26
Tjelesni simptomi	Ukupan broj	17	43
	Prosječan broj	0,63	1,87
Svi simptomi	Ukupan broj	30	95
	Prosječan broj	1,11	4,13

PRILOG 2

Upitnik kojim su prikupljeni temeljni podaci i podaci o subjektivnim simptomima vokalnog zamora

Godina rođenja: _____

Spol (zaokružite): M - Ž

Koliko ste godina zaposleni kao nastavnik? _____

Koliko sati predajete tjedno? _____

Bavite li se još nekom govorničkom ili pjevačkom aktivnošću izvan nastave (voditelj tečaja, zborovođa, gluma i slično)? Zaokružite odgovor. DA – NE

Konzumirate li cigarete? Zaokružite odgovor.. DA – POVREMENO – NE

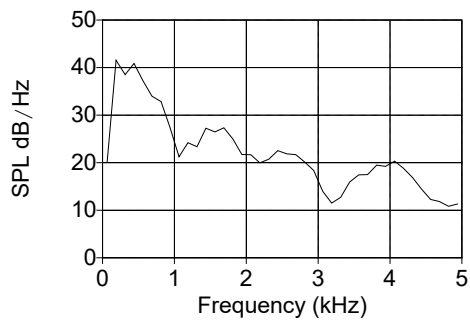
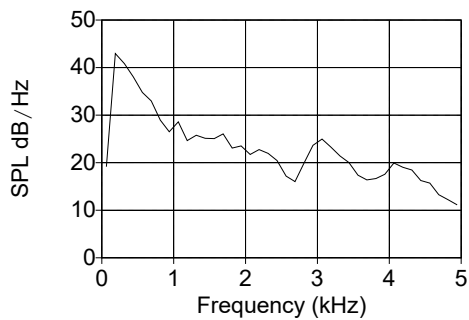
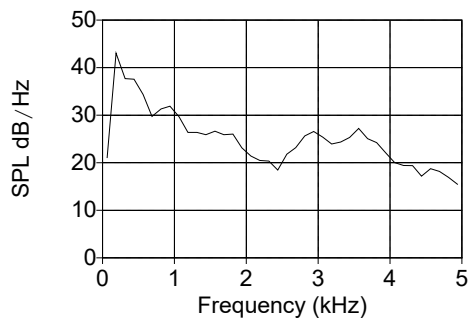
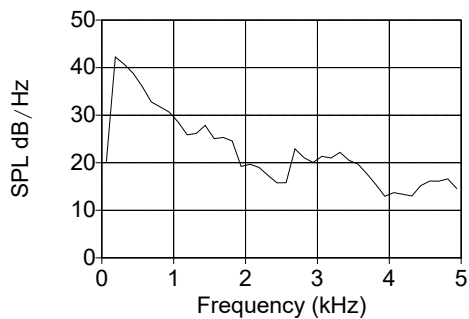
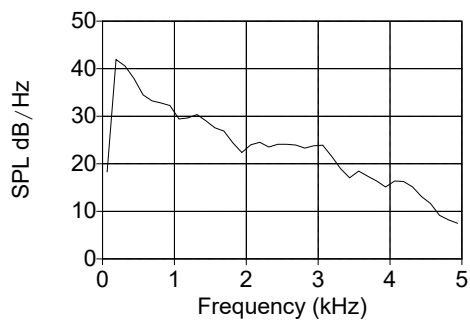
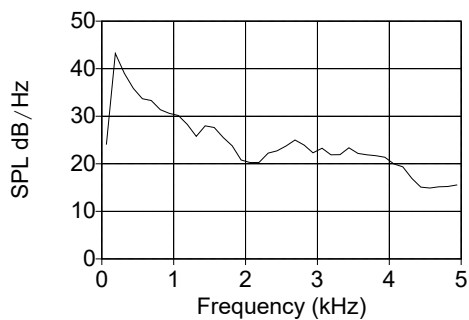
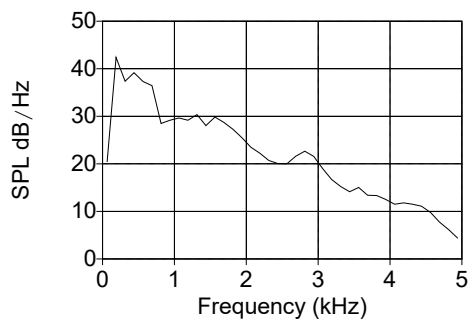
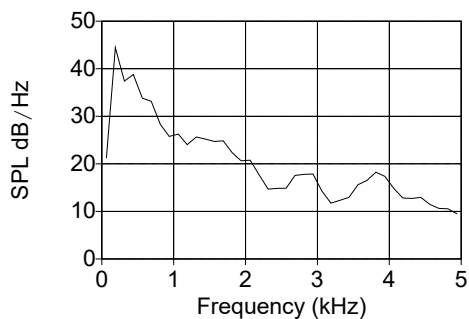
Imate li neke od sljedećih problema? Dobro razmislite i zaokružite jedan ili više odgovora.

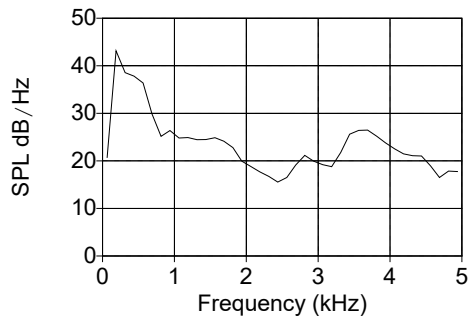
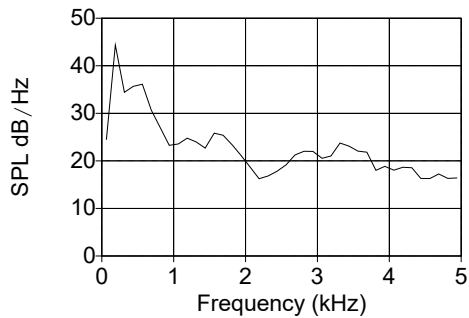
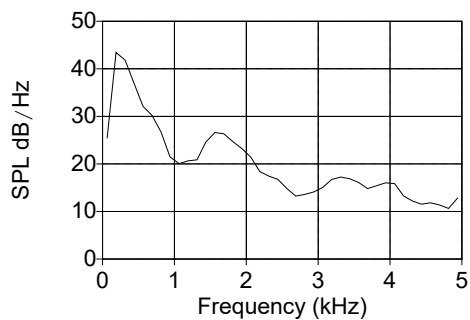
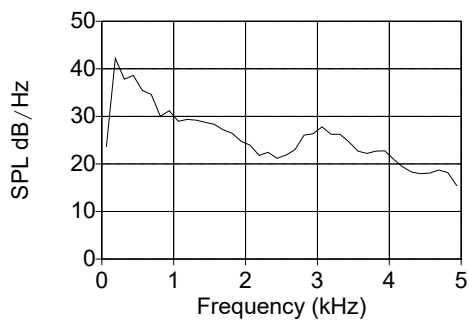
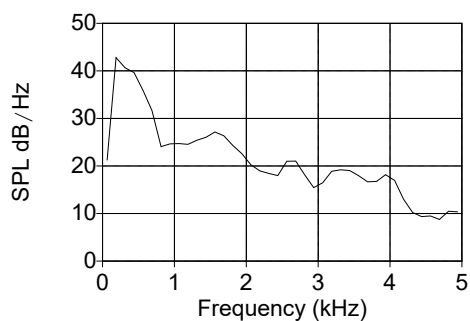
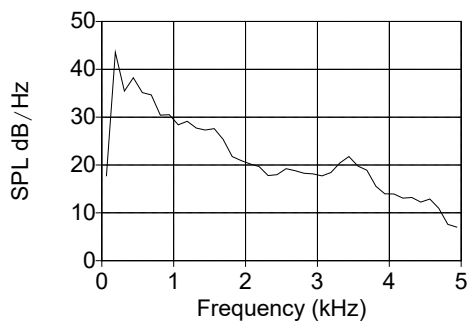
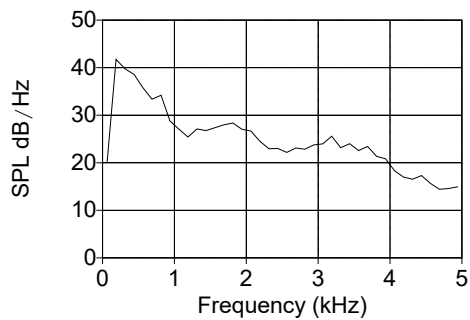
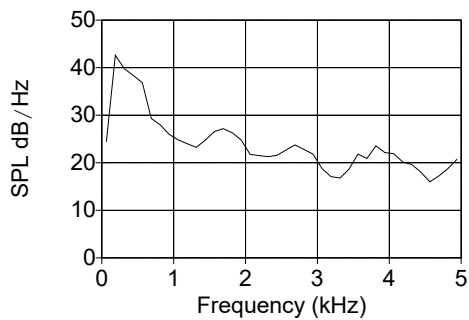
- promuklost (hrapav glas)
- slab (tih) glas
- gubitak glasa
- nestabilan glas (s promjenama visine)
- glas dublji nego inače
- glas viši nego inače
- pucanje glasa (iznenadni gubici glasa usred riječi)
- šuman glas
- neugodan osjećaj u grlu i vratu (bol, napetost, umor)
- suhoća grla
- bol ili osjećaj zategnutosti i stisnutosti grla
- kratak dah (isprekidan govor zbog brzog istjecanja zraka i potrebe za novim dahom)
- poteškoće u održanju dovoljno glasnoga glasa
- potreba za kašljanjem zbog nadražnosti grla (uzrok nije prehlada)
- bol prilikom gutanja

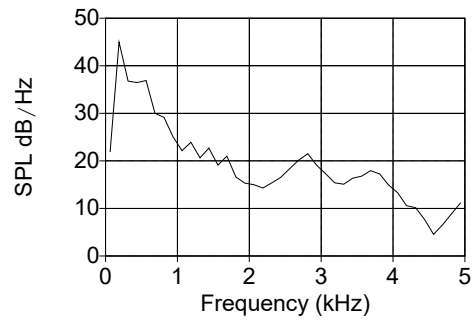
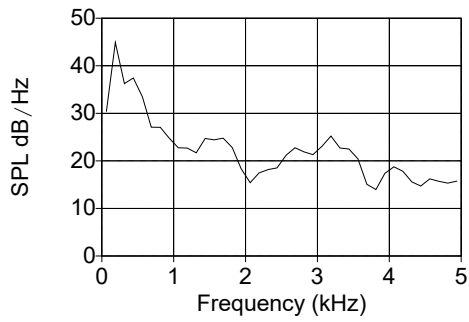
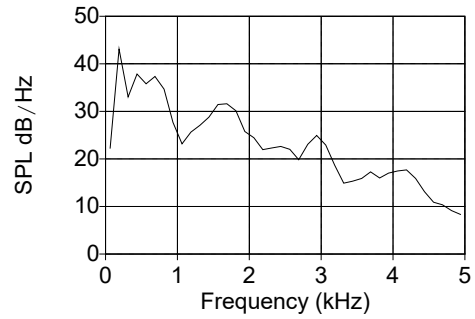
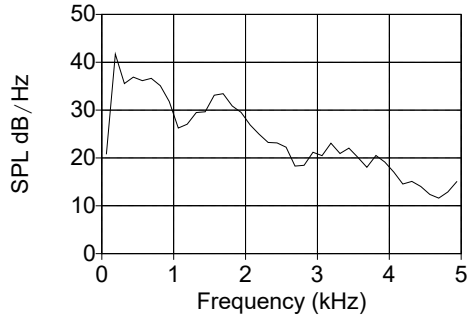
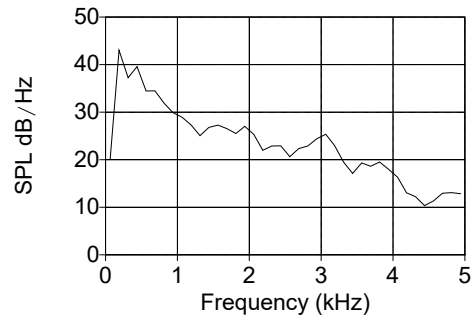
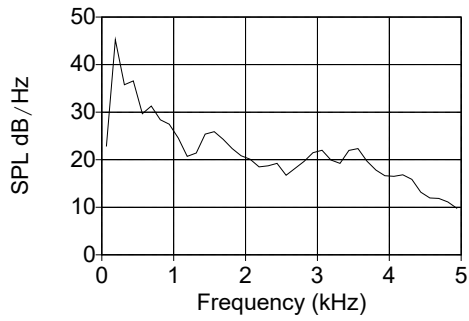
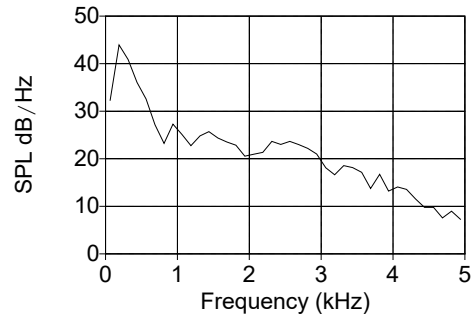
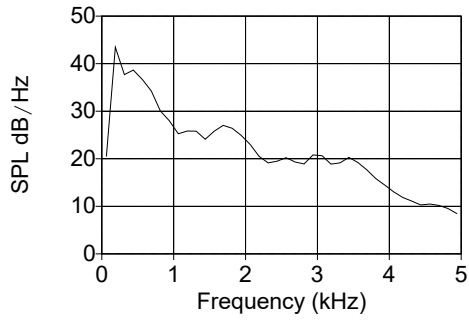
Datum popunjavanja upitnika: _____

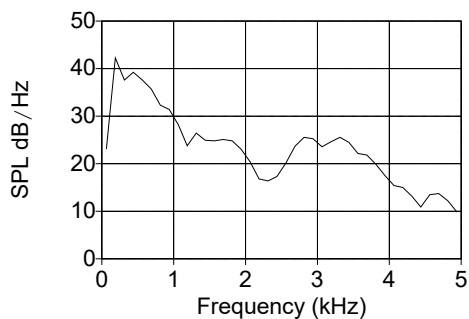
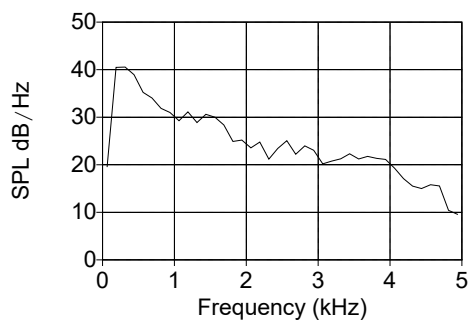
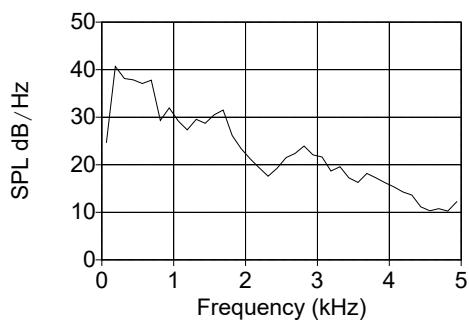
PRILOG 3

Pojedinačni dugotrajni prosječni spektri govora nastavnica bez vokalnog zamora, N=27









PRILOG 4

Pojedinačni dugotrajni prosječni spektri govora nastavnica s vokalnim zamorom, N=23

