

Izvorni znanstveni rad  
Rukopis primljen 3. 12. 2014.  
Prihvaćen za tisak 18. 5. 2015.

**Nives Vujasić**

*nvujasic@ffzg.hr, nives.vujasic@gmail.com*

Petrinja, Hrvatska

## **Akustička analiza spektra šuma hrvatskih lingvalnih frikativa**

### **Sažetak**

Izgovor lingvalnih frikativa je složen, a učestalost poremećaja njihovog izgovora u svjetskim jezicima vrlo velika. U hrvatskom se jeziku većina dosadašnjih istraživanja bavila artikulacijskim opisom izgovora ovih glasnika te akustičkim opisom temeljenim na vizualnoj inspekciji spektrograma, a manje kvantitativnim mjerama spektralnih karakteristika njihovog šuma. Spektar frikativa je šuman, pa su načini njegove kvantifikacije složeni. Stoga su ciljevi ovog istraživanja bili akustički analizirati i kvantificirati spektar hrvatskih lingvalnih frikativa pomoću četiri momenta spektra (težište, raspršenje i nagib spektra te istaknutost glavne amplitude) i time omogućiti objektivno međusobno razlikovanje frikativa te razlikovanje tipičnog izgovora frikativa od atipičnog. U tu je svrhu akustički analiziran tipičan izgovor 31 govornika koji su u fonetskom studiju pet puta ponovili listu od 12 beznačenjskih riječi. Prema rezultatima, težište i raspršenje spektra šuma najbolji su akustički korelati za razlikovanje frikativa, a slijede nagib spektra šuma i istaknutost glavne amplitude. Rad donosi i raspone vrijednosti mjerenih varijabli, što omogućuje i razlikovanje tipičnog izgovora hrvatskih lingvalnih frikativa od netipičnog te ukazuje na varijabilnost izgovora ovih glasnika.

**Ključne riječi:** hrvatski jezik, lingvalni frikativi, momenti spektra, akustička analiza

## 1. UVOD

Frikativi su podvrsta neprekidnih glasnika, oni su strujni, tjesnačni, odnosno zaprječni suglasnici kojima se govorni prolaz nikada potpuno ne zatvara tijekom izgovora (Škarić, 2007). Ime frikativa potječe od načina njihove proizvodnje – frikcije, odnosno trenja zračne struje na mjestu suženja artikulacijskog trakta (Bakran, 1996). Dok se vrlo jednostavan model proizvodnje vokala može opisati kao cijev koja je cijelom duljinom jednakog, tj. manje varijabilnog presjeka u odnosu na frikative zatvorena na jednom kraju (vibrirajućim glasnicama) i otvorena na drugom, kod frikativa ta cijev ima suženje na određenom mjestu govornog trakta, a prolaskom kroz to suženje zračna struja oblikuje mlaz i stvara turbulencije (Kent i Read, 2002; Harrington, 2013). Tako se mogu sažeti tri karakteristike u proizvodnji frikativa: oblikovanje uskog prolaza na nekom dijelu govornog trakta, razvoj turbulentne zračne struje i generiranje turbulentnog zvuka (Kent i Read, 2002; Shadle, 2013). Dakle, rezultat je šuman zvuk, karakteristična sastavnica frikativa. Kod zvučnih frikativa tom se šumu pridodaje i dio periodične energije, koja proizlazi iz zvučnosti koja nastaje titranjem glasnica (Harrington, 2013). Šuman je zvuk po prirodi kaotičnog spektralnog sastava, pa su načini kvantitativne analize takvog zvuka složeni. Za razliku od drugih konsonanata, frikative odlikuje i relativno dugo trajanje zvuka, tj. oni se mogu produžiti dokle god zrak izlazi iz pluća (Bakran, 1996; Kent i Read, 2002).

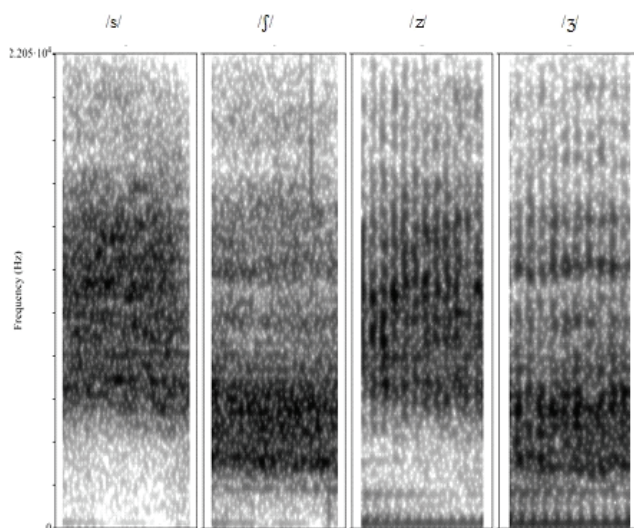
Potreba za analizom lingvalnih frikativa proizlazi iz složenosti njihove proizvodnje i učestalosti poremećaja izgovora ovih frikativa u svjetskim jezicima (Fuchs i sur., 2007). Složeni mehanizmi govorne produkcije tih glasnika zahtijevaju visoku razinu koordinacije raznih izgovornih karakteristika, primjerice položaja jezika i aerodinamičkih zahtjeva (Fuchs i sur., 2007; Koenig i sur., 2008). Rezultat toga je relativno kasno usvajanje lingvalnih frikativa u odnosu na ostale konsonante tijekom razvoja govora (Sander, 1972, prema Koenig i sur., 2008; Li i sur., 2009). Također, frikativi /s/ i /z/ najčešći su glasovi koji se ispravljaju u terapiji govora (Gibbon i Patterson, 2006 i McLeod i sur., 2006, prema Liker i sur., 2012), a istoj skupini pripadaju i /ʃ/ i /ʒ/ (Gibbon i Patterson, 2006 i Liker i sur., 2007, prema Liker i Gibbon, 2011) i upravo su ti lingvalni frikativi predmet ovog rada. Težinu izgovora ovih glasnika i veliku učestalost poremećaja njihovog izgovora potvrđuje i Varošaneć-Škarić (2010).

Općenito, lingvalni frikativi pripadaju skupini glasnika čiji se poremećaj izgovora naziva sigmatizam. Prema Vuletić (1987), sigmatizam je i u drugim europskim jezicima najčešći izgovorni poremećaj. Sigmatizam uže skupine zahvaća frikative /s/ i /z/ te afrikatu /ts/, a sigmatizam šire skupine sve ostale lingvalne frikative i afrikate. Problem nastaje primjerice u karakterizaciji govora vokalnih profesionalaca, ali i neprofesionalaca, jer podaci pokazuju da 55,7% vokalnih profesionalaca i 77% neprofesionalaca ima sigmatizam (Škarić i Varošaneć-Škarić, 1994 i Ivičević-Desnica i sur., 1994/95, prema Varošaneć-Škarić, 2010), no ne postoje sustavne i ponovljive akustičke mjere koje bi kvantitativno pokazale razinu odstupanja od tipičnog (zdravog) govora u hrvatskom jeziku. Uzrok tako visokim postocima udjela sigmatizma u populaciji mogla bi biti perceptivna procjena korištena u spomenutim istraživanjima, pa je uz takvu potrebno provoditi i akustična istraživanja. Potrebno je, dakle, i akustički precizno opisati izgovor tih frikativa te takvim opisom pomoći detaljnijem fonetskom opisu tih glasova i objektivnijem razlikovanju tipičnog izgovora od atipičnog.

Izgovornim i akustičkim karakteristikama hrvatskih frikativa već su se bavili različiti autori. Međutim, artikulacijski opisi većinom su impresionističke i introspekcijske prirode, osim nekoliko recentnih instrumentalnih istraživanja (Liker i Gibbon, 2011; Liker i sur., 2012). S druge strane, i bliže temi ovog rada, akustički opisi većinom su se temeljili na vizualnoj inspekciji spektrograma (Bakran, 1996), a ne na kvantitativnim mjerama spektralnih karakteristika. Poznato je da se približavanjem jezika nepcu i ostavljanjem uskog prolaza između jezika i gornjih sjekutića tvori frikativ /s/, dok je kod frikativa /ʃ/ mjesto suženja pomaknuto prema nadzubnom grebenu i prednjem dijelu tvrdog nepca, a i tjesnac je nešto širi nego onaj za frikativ /s/ (Isto). Po načinu izgovora njima su slični zvučni /z/ i /ʒ/ (Isto), ali se razlika između zvučnih i bezvučnih frikativa očituje u količini dodira jezika i nepca kao i u širini prolaza zraka (Liker i Gibbon, 2011). Prema opisu hrvatskog jezika u priručniku Međunarodne fonetske asocijacije (Landau i sur., 1999), /s/ i /z/ su dentalni (zubni), a /ʃ/ i /ʒ/ postalveolarni (nadzubni) konsonanti. Škarić zubnim frikativima nadodaje da su i zubnonadzubni, jer je primarni dodir i zubni i zubnonadzubni (prema Varošaneć-Škarić, 2010), dok je jedno od istraživanja frikativa /s/ i /z/ elektropalatografijom pokazalo kako su ta oba alveolarna ili dentalno-alveolarna, umjesto isključivo dentalna (Liker i sur., 2012).

Akustički, kod bezvučnih frikativa zvuk je šum, a kod zvučnih se tom šumu pridodaje i harmoničan ton. Taj odnos harmoničnog tona i šuma najistaknutija je

razlika zvučnih i bezzvučnih frikativa. Na ilustraciji spektrografskih prikaza hrvatskih lingvalnih frikativa prije filtriranja za potrebe ovog istraživanja (Slika 1) vidljive su razlike bezzvučnih i zvučnih frikativa. Kod zvučnih je frikativa u nižem dijelu spektra vidljiv harmoničan ton koji može biti prisutan i na višim frekvencijama (Bakran, 1996). Prema Bakranu (Isto), u spektru frikativa, tada analiziranom do 10 kHz, kod /s/ je jači dio spektra od 4 do 10 kHz, a kod /ʃ/ od 2 do 6 kHz. I ovi spektrografski prikazi jasno pokazuju kako dentalni frikativi imaju izraženiji dio spektra u višim, a postalveolarni u nižim frekvencijama, ali su podaci dobiveni isključivo vizualnom inspekcijom spektrograma. Takva metoda analize nije pogodna za prikupljanje veće količine podataka jer je eksperiment vrlo teško ponoviti na identičan način.



**Slika 1.** Spektrogrami lingvalnih frikativa hrvatskog jezika u području do 22 050 Hz  
**Figure 1.** Spectrograms of Croatian lingual fricatives in the frequency range up to 22 050 Hz

Bakran (1996) je mjerio i inherentno trajanje segmenata govora, tj. razliku u trajanju različitih konsonanata u istom kontekstu. Njegovi podaci pokazuju da mjesto i način artikulacije utječu na trajanje glasova. Kod frikativa postalveolarni /ʃ/ i /ʒ/ traju dulje od dentalnih /s/ i /z/ koji su oko 8% kraći. Također, zvučni je par frikativa 25% kraćeg trajanja. S tim se podacima u načelu slažu Liker i suradnici (2012).

U istraživanjima frikativa u drugim jezicima, osim vizualne inspekcije spektrograma, posljednjih se godina često koristi mjerenje četiri momenta spektra šuma frikativa. Pri mjerenju se spektralna ovojnica promatra kao oblik histograma gdje su  $x$  intervali frekvencija, a  $f$  vrijednosti dB na određenoj frekvenciji (Harrington, 2013). Prvi od momenata je centar gravitacije ili težište, statistička mjera koja određuje centar gravitacije najveće koncentracije energije u spektru (Jones i McDougall, 2009; Horga i sur., 2013). Standardna devijacija centra gravitacije (raspršenje), drugi moment spektra, mjeri koliko je zvučna energija raspršena u spektru šuma, pa veća vrijednost znači šire područje jačeg šuma frikativa (Isto). Treći moment, nagib spektra šuma pokazuje gdje se nalazi većina energije spektra šuma. Vrijednost 0 označava težište, pa negativna vrijednost ili vrijednost bliža nuli znači da je većina energije ispod, a pozitivna vrijednost da je većina energije iznad težišta (Isto). Konačno, istaknutost glavne amplitude moment je koji mjeri koliko je glavna amplituda istaknuta u odnosu na okolne dijelove spektra (Isto).

Forrest i suradnici (1988, prema Jesus i Shadle, 2002) primijenili su momente spektra kako bi odredili tipičan izgovor glasnika. Momenti su se pokazali uspješnima pri razlikovanju okluziva, ali ne i svih frikativa, no raspon istraživanja bio je vrlo malen. Kasnije, Shadle i Mair (1996, prema Jesus i Shadle, 2002) potvrđuju slabosti momenata spektra na većem korpusu riječi, ali na samo dva govornika. Suprotno tomu, Jongman i suradnici (2000, prema Jesus i Shadle, 2002) dobivaju statistički značajne razlike većine frikativa u sva četiri momenta spektra.

Momenti spektra ipak su se pokazali uspješnima u brojnim novijim istraživanjima frikativa, npr. u usporedbi frikativizirane realizacije /t/ u australskom engleskom s frikativima /s/ i /ʃ/ (Jones i McDougall, 2009), u akustičkoj analizi bezvučnih frikativa u sjevernovelškom jeziku (Jones i Nolan, 2007), u istraživanju razvoja izgovora kroz dob i spolne razlike u izgovoru četiri frikativa engleskog jezika (Fox i Nissen, 2005), u studiji bezvučnih frikativa u sedam jezika (Gordon i sur., 2002), u analizi fonetskog razvoja frikativa u engleskom i japanskom jeziku (Li i sur., 2009) itd. Treba napomenuti da u navedenim istraživanjima nisu uvijek korišteni svi momenti spektra. Često se kombiniraju s drugim mjerama (npr. trajanjem i intenzitetom), a najčešće se koristi težište, odnosno mjesto koncentracije najveće energije u spektru (Jones i McDougall, 2009). Iako je to gruba mjera, jednostavna je za opis spektra frikativa (Jones i Nolan, 2007).

Zasad ne postoje normativni podaci koji pokazuju vrijednosti četiri momenta spektra šuma frikativa u tipičnoj (zdravoj) populaciji govornika hrvatskog jezika. To je nedostatak koji ovaj rad namjerava ispraviti i donijeti prve takve podatke. Ovi podaci svoju primjenu mogu naći u kliničkoj fonetici i fonetskoj korekciji izgovora, u logopediji te u sintezi govora jer će pružiti referentne vrijednosti kojima treba težiti te će iznijeti njihov prihvatljivi raspon. Tako su, primjerice, Mildner i Liker (2008) koristili neke od momenata u analizi bezvučnih frikativa djece s kohlearnim implantima, a Horga i suradnici (2013) sva četiri momenta spektra u određivanju karakteristika izgovora frikativa kod osoba s dentalnom protezom i bez nje u odnosu na izgovor osoba uredne denticije.

## 2. OPĆI I SPECIFIČNI CILJEVI RADA

Opći je cilj ovog istraživanja akustički analizirati i kvantificirati spektar šuma hrvatskih lingvalnih frikativa primjenom četiri momenta spektra. Specifični su ciljevi da se ovim mjerama omogući objektivno međusobno razlikovanje frikativa te razlikovanje tipičnog izgovora frikativa od atipičnog, što je važno za kliničku fonetiku, fonetsku korekciju izgovora i akustičku sintezu govora.

Opisat će se hrvatski lingvalni frikativi te će se njihovi odnosi objasniti kroz mjesto artikulacije i zvučnost. Pretpostavlja se kako će analiza momenata spektra frikativa omogućiti preciznije međusobno razlikovanje frikativa, a rasponi rezultata omogućit će objektivnije određenje tipičnog izgovora pojedinog frikativa. Nadalje, na temelju prethodno objavljenih radova pretpostavlja se da će najbolji korelat za međusobno razlikovanje hrvatskih frikativa biti težište spektra.

## 3. MATERIJAL I METODE

### 3.1. Govorni materijal

Frikativi su ispitivani u beznačenjskim riječima (logatomima) strukture CVCV, gdje su oba konsonanta uvijek bili ciljani frikativi /s/, /ʃ/, /z/ i /ʒ/, a oba vokala neki od triju krajnjih vokala hrvatskog jezika – /i/ prednji i zatvoreni, /a/ središnji i otvoreni, /u/ stražnji i zatvoreni (Landau i sur., 1999). Jednaki konsonanti osigurali su minimalan utjecaj početnog konsonanta na onaj u medijalnoj poziciji koji je ispitivan. Riječi s ispitivanim frikativima su bile umetnute u rečenice "Rekao je X" (X – riječ s ispitivanim glasom). Takav eksperimentalni dizajn omogućio je jednake fonetske uvjete za sve ispitivane frikative, što je osiguralo faktorsku valjanost testa. Iz

toga je proizašlo 12 kombinacija frikativa i vokala koje je svaki ispitanik tijekom snimanja ponovio pet puta, što je ukupno 60 uzoraka. Prema broju ispitanika, ukupan zbroj uzoraka svih frikativa u svim vokalskim okolinama je 1 860.

### 3.2. Ispitanici

Snimljeno je ukupno 36 ispitanika, a zatim je provedena stručna procjena njihova izgovora. Troje stručnih slušača preslušalo je snimke i izgovor ocijenilo u rasponu od 1 do 5. Za daljnju analizu korištene su samo snimke ispitanika čija je ocjena bila 3 i više, uz uvjet da razlike između konačnih ocjena procjenitelja za pojedine govornike nisu bile veće od tri ocjene. Drugim riječima, govornik koji je od dvaju procjenitelja dobio ocjene 1 i 5 nije bio uključen u daljnju analizu. Na temelju ovakve stručne procjene iz daljnjeg istraživanja isključeno je petero neprihvatljivih govornika. U analizu su konačno uključene snimke 31 ispitanika, 4 muška i 27 ženskih. Svi su ispitanici bili studenti fonetike, prosječne starosti 23 godine, u rasponu od 19 do 37 godina.

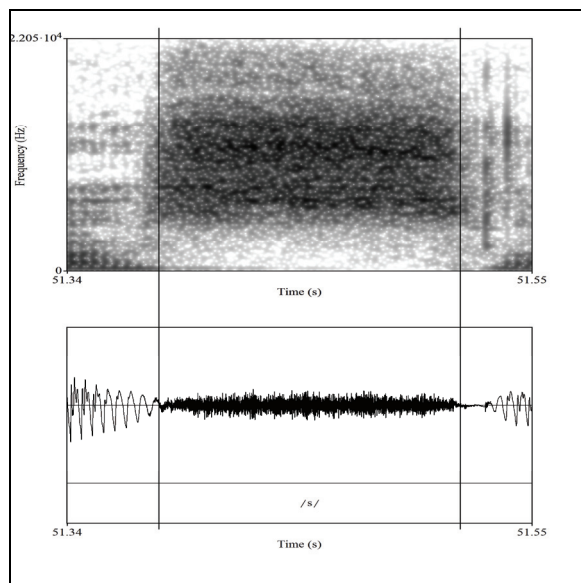
### 3.3. Snimanje

Svi su ispitanici snimljeni u fonetskom studiju Odsjeka za fonetiku Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Prije snimanja su dobili upute za čitanje rečenica umjerenim tempom i neutralnom, silaznom intonacijom. Tijek snimanja reguliran je automatskom prezentacijom na kojoj je svaki prikaz trajao dvije sekunde, što je bilo dovoljno za takvo čitanje, a između svakog prikaza s rečenicom bio je prazan prikaz koji je trajao jednako toliko. Zvuk je snimljen u programu Adobe Audition mikrofonom AKG C414B-ULS, a jačina ulaza regulirana miksetom Soundcraft Spirit LX 7 spojenom na PC računalo. Frekvencija uzorkovanja bila je 44 100 Hz, što je osiguralo i više nego dovoljnu Nyquistovu frekvenciju za analizu šuma frikativa (22 050 Hz).

### 3.4. Anotiranje i segmentiranje

Svaka je snimka pojedinačno anotirana u računalnom programu Praat (Boersma i Weenink, 2013) oslanjajući se na valni oblik i spektrogram (Slika 2). Kriteriji segmentacije za početak frikativa bili su završetak drugog formanta prethodnog vokala te početak jasno definiranog šuma frikativa u višem dijelu spektra. U situacijama gdje se ta dva kriterija nisu podudarala, prednost je imao početak jasno definiranog šuma frikativa u višem dijelu spektra. Završetkom frikativa smatrao se

završetak jasno definiranog šuma. Ovi su kriteriji u skladu s najčešće korištenim kriterijima za segmentaciju frikativa (Fuchs i sur., 2007; Horga i sur., 2013).



**Slika 2.** Ilustracija kriterija anotiranja i segmentiranja frikativa

**Figure 2.** Illustration of criteria for annotation and segmentation of fricatives

### 3.5. Analiza

Prije analize momenata spektra, svaki je segment filtriran visokopropusnim filtrom granične frekvencije 300 Hz kako bi se ujednačili uvjeti za analizu zvučnih frikativa koji imaju nisku harmoničnu sastavnicu tijekom svog trajanja i bezvučnih frikativa koji je nemaju. Analizirano je pet varijabli: trajanje i četiri momenta spektra – težište, raspršenje i nagib spektra šuma te istaknutost glavne amplitude.

Prvi moment spektra, težište ili centar gravitacije (engl. *centre of gravity*, COG), mjera je težišta najveće koncentracije energije u spektru. Raspršenje ili standardna devijacija centra gravitacije (engl. *spectral standard deviation*) mjeri koliko je zvučna energija raspršena u spektru šuma, pa veća vrijednost znači šire područje jačeg šuma frikativa. Treći moment, nagib spektra šuma (engl. *skewness*) pokazuje asimetriju spektra, tj. gdje se u frekvencijskom području nalazi većina energije spektra šuma. Ta je mjera povezana s prvim momentom, težištem, pa negativna vrijednost znači da je većina energije ispod, a pozitivna da je većina energije iznad težišta. Istaknutost glavne amplitude (engl. *kurtosis*), četvrti moment spektra, mjeri koliko je



glavna amplituda istaknuta u odnosu na okolne dijelove spektra, tj. koliko je energija spektra koncentrirana u glavnoj amplitudi u odnosu na energiju u ostatku spektra. Često, ali ne uvijek, taj je moment povezan s raspršenjem, drugim momentom spektra.

Nakon mjerenja trajanja frikativa, od svakog se pripremljenog frikativa izradio spektar koji je zatim analiziran naredbama programa Praat (Boersma i Weenink, 2013) koje se odnose na četiri momenta spektra. Dobiveni rezultati analizirani su i vizualno prikazani u Microsoft Excelu, a statistička značajnost rezultata testirana je dvosmjernom analizom varijance s replikacijom.

#### 4. REZULTATI

Navode se rezultati izračuna trajanja frikativa i četiri momenta spektra te rezultati testa statističke značajnosti. Rezultati donose raspone vrijednosti tipičnog izgovora hrvatskih lingvalnih frikativa. Tablica 1 prikazuje minimalne, maksimalne i prosječne vrijednosti pojedine mjere te p-vrijednosti testa statističke značajnosti za razlike zvučnih i bezzvučnih te dentalnih i postalveolarnih frikativa.

**Tablica 1.** Prikaz rezultata trajanja i vrijednosti četiri spektralna momenta za hrvatske lingvalne frikative te statističke značajnosti za razlike frikativa po zvučnosti i mjestu artikulacije

**Table 1.** Results for duration and values of spectral moments of Croatian lingual fricatives as well as the statistical significance of the differences between the fricatives according to voicing and place of articulation

TRAJANJE (ms)	s	ʃ	z	ʒ
Prosjek	157	156	101	104
Minimum	85	84	33	50
Maksimum	232	225	180	184
Razlika zvučnih i bezzvučnih: p = 0,000 Razlika zubnih i nadzubnih: p = 0,451				
TEŽIŠTE (Hz)	s	ʃ	z	ʒ
Prosjek	8 641	4 641	6 551	3 308
Minimum	5 281	2 383	512	529
Maksimum	11 677	6 892	11 640	7 004
Razlika zvučnih i bezzvučnih: p = 0,000 Razlika zubnih i nadzubnih: p = 0,000				

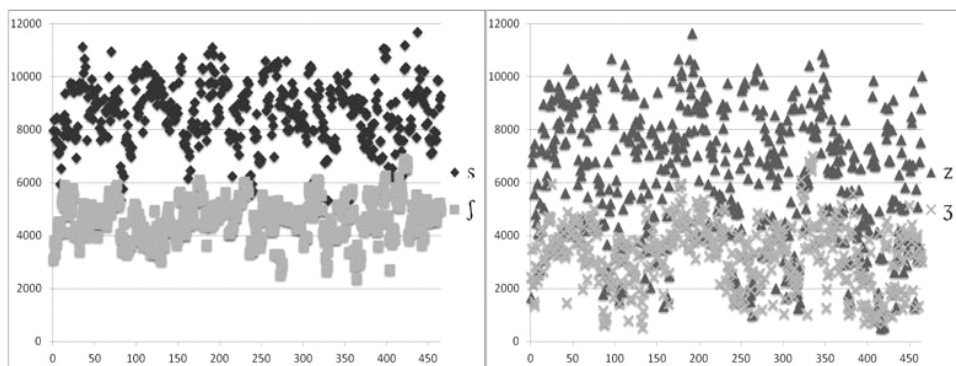
RASPRŠENJE (Hz)	s	ʃ	z	ʒ
Prosjek	2 206	1 705	3 130	1 873
Minimum	717	934	784	560
Maksimum	4 624	2 866	5 255	3 104
Razlika zvučnih i bezzvučnih: $p = 0,000$ Razlika zubnih i nadzubnih: $p = 0,000$				
NAGIB	s	ʃ	z	ʒ
Prosjek	-0,195	0,917	-0,372	0,794
Minimum	-4	-1	-6	-1
Maksimum	3	5	8	9
Razlika zvučnih i bezzvučnih: $p = 0,002$ Razlika zubnih i nadzubnih: $p = 0,000$				
ISTAKNUTOST GLAVNE AMPLITUDE	s	ʃ	z	ʒ
Prosjek	2,966	3,81	2,355	3,156
Minimum	-1	-0,8	-2	-2
Maksimum	44	32	78	116
Razlika zvučnih i bezzvučnih: $p = 0,017$ Razlika zubnih i nadzubnih: $p = 0,002$				

#### 4.1. Trajanje

Među hrvatskim lingvalnim frikativima prema trajanju se ističe razlika po zvučnosti, tj. bezzvučni frikativi (/s/ = 157 ms, u rasponu od 85 do 232 ms, i /ʃ/ = 156 ms, u rasponu od 84 do 225 ms) traju značajno dulje od zvučnih (/z/ = 101 ms u rasponu od 33 do 180 ms, i /ʒ/ = 104 ms, u rasponu od 50 do 184 ms) ( $p < 0,001$ ), dok su prema mjestu artikulacije razlike vrlo male i ne dostižu statističku značajnost.

#### 4.2. Težište

Težište energije spektra šuma pokazalo se vrlo dobrom mjerom za međusobno razlikovanje frikativa. Frikativi se međusobno statistički značajno razlikuju i prema zvučnosti i prema mjestu artikulacije ( $p < 0,001$ ). Najveću prosječnu vrijednost težišta ima /s/ = 8 641 Hz (u rasponu od 5 281 do 11 677 Hz), zatim slijede /z/ = 6 551 Hz (u rasponu od 512 do 11 640 Hz) i /ʃ/ = 4 641 Hz (u rasponu od 2 383 do 6 892 Hz), a najmanju vrijednost ima /ʒ/ = 3 308 Hz (u rasponu od 529 do 7 004 Hz). Dakle, prema zvučnosti, težišta bezzvučnih frikativa na višim su frekvencijama od težišta zvučnih frikativa, a prema mjestu artikulacije dentalni imaju veće vrijednosti težišta nego postalveolarni frikativi. Maksimalne se vrijednosti postalveolarnih frikativa zadržavaju u području do 7 kHz, dok se one dentalnih frikativa približavaju i 12 kHz.



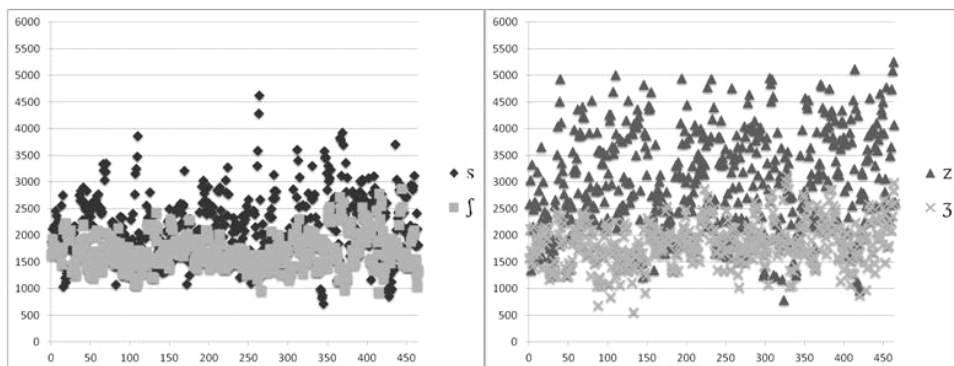
**Slika 3.** Grafički prikaz rezultata svakog izgovora frikativa svih ispitanika za vrijednosti težišta spektra šuma bezvučnih (lijevo) i zvučnih (desno) hrvatskih lingvalnih frikativa. Na ordinati se nalaze frekvencije težišta (Hz), a na apscisi brojevi ispitivanih čestica.

**Figure 3.** Results for centre of gravity of every fricative production. The figure shows results for voiceless (left) and voiced (right) Croatian lingual fricatives. The frequency (Hz) is on the ordinate and the number of productions is on the abscissa.

Na grafičkom prikazu (Slika 3) vidljiv je širok raspon rezultata, ali i mogućnost jasnog razlikovanja hrvatskih lingvalnih frikativa mjerenjem centra gravitacije energije spektra. Na prikazu rezultata bezvučnog para frikativa može se vidjeti prilično jasno razgraničenje između /s/ i /š/ na oko 6 000 Hz. Slično bi se moglo reći i za par zvučnih frikativa gdje je većina rezultata /z/ ispod 6 000 Hz, no rezultati za /z/ su raspršeni unutar cijelog područja rezultata unatoč većini iznad 6 000 Hz.

### 4.3. Raspršenje

Prema mjeri raspršenja energije spektra hrvatski se lingvalni frikativi također mogu dobro razlikovati. Frikativi se značajno razlikuju i prema zvučnosti i prema mjestu artikulacije ( $p < 0,001$ ). Vrijednosti su za bezvučne frikative: /s/ = 2 206 Hz (u rasponu od 717 do 4 624 Hz) i /š/ = 1 705 Hz (u rasponu od 934 do 2 866 Hz), a za zvučne: /z/ = 3 130 Hz (u rasponu od 784 do 5 255 Hz) i /ž/ = 1 873 Hz (u rasponu od 560 do 3 104 Hz). Dakle, zvučni frikativi više su raspršeni od svojih bezvučnih parnjaka, a dentalni frikativi više su raspršeni od postalveolarnih. Redoslijed bi tako bio od /z/ s najvećom raspršenosti energije spektra, preko /s/ i /ž/ do /š/ koji ima najmanju vrijednost raspršenosti. Ovaj redoslijed prate i maksimalne vrijednosti raspršenosti frikativa.



**Slika 4.** Grafički prikaz rezultata svakog izgovora frikativa svih ispitanika za raspršenje spektra šuma bezvučnih (lijevo) i zvučnih (desno) hrvatskih lingvalnih frikativa. Na ordinati se nalaze širine pojasa raspršenja (Hz), a na apscisi brojevi ispitivanih čestica.

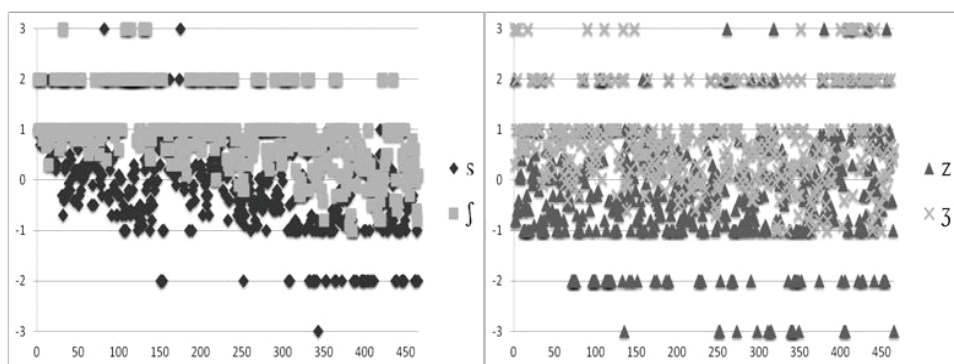
**Figure 4.** Results for spectrum standard deviation of every fricative production. The figure shows results for voiceless (left) and voiced (right) Croatian lingual fricatives. The spectrum standard deviation bandwidths (Hz) are on the ordinate and the number of productions is on the abscissa.

#### 4.4. Nagib

Kao što je prije spomenuto, mjera nagiba pokazuje gdje se u odnosu na težište nalazi većina energije spektra. U odnosu na prethodne dvije mjere, mjera nagiba omogućuje djelomično, ali još uvijek dobro razlikovanje hrvatskih lingvalnih frikativa. Većina rezultata svih frikativa je oko vrijednosti težišta, ali dentalni imaju negativnu prosječnu vrijednost nagiba ( $/s/ = -0,195$ , u rasponu od -4 do 3, i  $/z/ = -0,372$ , u rasponu od -6 do 8), što znači da je većina energije ispod težišta, i suprotno, postalveolarni imaju negativnu vrijednost nagiba ( $/š/ = 0,917$ , u rasponu od -1 do 5, i  $/ž/ = 0,794$ , u rasponu od -1 do 9), dakle, većinu energije iznad težišta.

Grafički prikaz (Slika 5) zbog preglednosti prikazuje raspon rezultata od -3 do 3 budući da se u tom rasponu nalazi 97% dobivenih vrijednosti (za usporedbu, u rasponu od -5 do 5 nalazi se 99% rezultata). Prikazi zvučnog i bezvučnog para zasebno preciznije pokazuju da dentalni frikativi imaju većinu energije oko težišta s tendencijom ispod težišta, a postalveolarni samo iznad težišta. To se u prosječnim vrijednostima vidi u rezultatima dentalnih frikativa koji su bliže nuli (iako negativni), a vrijednosti postalveolarnih udaljeniji od nule u odnosu na dentalne frikative.

U usporedbi s težištem, rezultati su i logični, težišta postalveolarnih frikativa na nižim su frekvencijama od težišta dentalnih, pa je i očekivano da će većina zvučne energije postalveolarnih biti u višem dijelu, i obrnuto. Razlika među frikativima prema zvučnosti dostiže statističku značajnost ( $p < 0,05$ ), a prema mjestu artikulacije značajnost razlike je još veća ( $p < 0,001$ ).

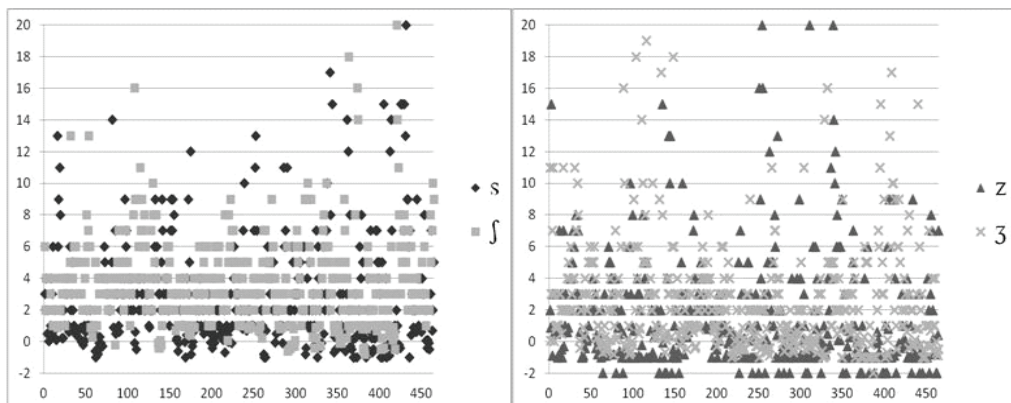


**Slika 5.** Grafički prikaz rezultata svakog izgovora frikativa svih ispitanika za nagib spektra šuma bezvučnih (lijevo) i zvučnih (desno) hrvatskih lingvalnih frikativa

**Figure 5.** Results for skewness of every fricative production. The figure shows results for voiceless (left) and voiced (right) Croatian lingual fricatives.

#### 4.5. Istaknutost glavne amplitude

Od četiri mjerena momenta spektra istaknutost glavne amplitude najslabiji je akustički korelat za međusobno razlikovanje frikativa, ali razlike frikativa i prema ovoj mjeri dostižu statističku značajnost ( $p < 0,05$ ). Prosječna vrijednost istaknutosti glavne amplitude je za /s/ = 2,966 (u rasponu od -1 do 44), /š/ = 3,81 (u rasponu od -0,8 do 32), /z/ = 2,355 (u rasponu od -2 do 78) i /ž/ = 3,156 (u rasponu od -2 do 116). Većina (97%) rezultata nalazi se u rasponu od -2 do 20 i u tom se rasponu (posebno na grafičkom prikazu, Slika 6) mogu primijetiti neke tendencije istaknutosti glavnih amplituda. Vidljivo je prema rezultatima (Tablica 1) kako postalveolarni frikativi imaju veću prosječnu istaknutost nego dentalni. Zanimljivo je da bezvučni frikativi imaju veće prosječne vrijednosti istaknutosti glavne amplitude nego njihovi zvučni parnjaci, ali se kod zvučnih frikativa pojavljuju čestice s maksimalnim vrijednostima istaknutosti glavne amplitude.



**Slika 6.** Grafički prikaz rezultata svakog izgovora frikativa svih ispitanika za istaknutost glavne amplitude bezvučnih (lijevo) i zvučnih (desno) hrvatskih lingvalnih frikativa

**Figure 6.** Results for kurtosis of every fricative production. The figure shows results for voiceless (left) and voiced (right) Croatian lingual fricatives.

## 5. RASPRAVA

Hrvatski lingvalni frikativi u ovom su radu analizirani u simetričnoj vokalskoj okolini triju krajnjih hrvatskih vokala u beznačenjskim riječima jer se one smatraju kontroliranim produkcijama (Jesus i Shadle, 2002). Donose se rasponi vrijednosti tipičnih produkcija hrvatskih lingvalnih frikativa koji pokazuju i varijabilnost njihova izgovora. Ona se mogla i očekivati iz zaključka Bakrana (1996) kako je prepoznavanje tih frikativa rijetko ugroženo varijacijama njihovog izgovora, dakle, ta je varijabilnost u određenoj mjeri prihvatljiva u tipičnom izgovoru. U ovom je istraživanju tipičnost izgovora provjerena i osigurana prethodnom stručnom procjenom govornika.

Pokazalo se da je trajanje relativno pouzdan korelat za međusobno razlikovanje frikativa. Prema Bakranu (1996) hrvatski su zvučni frikativi 25% kraći od bezvučnih, a istu tendenciju pokazuju i rezultati ovog istraživanja. Razlika u odnosu na ove rezultate, gdje su zvučni frikativi oko 35% kraći od bezvučnih, postoji vjerojatno zbog različitih eksperimentalnih uvjeta i različitog govornog materijala jer su kod Bakrana to bile realne riječi u rečenicama različite duljine (Liker i sur., 2012). Trajanje dentalnih frikativa prema ovom istraživanju je nešto kraće, ali slično rezultatima Likera i suradnika (Isto) prema kojima je prosječno trajanje /s/ = 189 ms, a /z/ = 108 ms. Dulje trajanje bezvučnih u odnosu na zvučne

konsonante vrlo je vjerojatno univerzalna karakteristika svih jezika (Ladefoged i Maddieson, 1996).

Gordon i suradnici (2002) proveli su studiju bezvučnih frikativa i u sedam jezika pokazali kako je trajanje slabo sredstvo razlikovanja frikativa prema mjestu artikulacije, ali se pokazalo jasnim da je u četiri jezika /s/ bio najduži ili jedan od frikativa najdužeg trajanja. I u hrvatskom jeziku /s/ ima najdulje minimalno, maksimalno i prosječno trajanje u odnosu na ostala tri frikativa, ali se samo od zvučnih značajno razlikuje. Frikativi /s/ i /ʃ/ sličnog su trajanja i bez statistički značajne razlike. Podaci su vrlo slični onima Jonesa i McDougalla (2009) gdje je prosječno trajanje u australskom za /s/ = 160 ms, a /ʃ/ = 159 ms, pa među njima nema statistički značajne razlike. Tendenciju duljeg trajanja /s/ potvrđuju i rezultati Gardnera (2013) na dijalektu regije Cape Breton koji pokazuju da /s/ u prosjeku traje dulje od /ʃ/ (/s/ = 204 ms, /ʃ/ = 90 ms). S druge strane, Jones i Nolan (2007) dobili su rezultate prema kojima je frikativ /ʃ/ kod svih ispitanika dulji od /s/, što je vjerojatno specifičnost analiziranog dijalekta, ali bi bilo zanimljivo provjeriti koji su uzroci tog razlici.

U ovom radu spektar šuma frikativa kvantificiran je momentima spektra (težište, raspršenost, nagib spektra šuma i istaknutost glavne amplitude) koji su se pokazali vrlo uspješnima u međusobnom razlikovanju frikativa po zvučnosti i mjestu artikulacije. Još je od Bakranova rada (1996) poznato da na spektrografskim prikazima do 10 kHz frikativ /s/ ima pojačano frekvencijsko područje od 4 do 10 kHz, a /ʃ/ od 2 do 6 kHz, dakle u tom se području nalazi više energije spektra. Što se ostalih akustičkih podataka tiče, Vuletić (1987) navodi da je kod interdentalnog sigmatizma frekvencijska visina frikativa nešto niža od optimalne (na oktavnim filtrima od 6 400 do 12 000 Hz za glas /s/ koji je u toj skupini najviši). Isto je i kod lateralnog i palatalnog sigmatizma, dok je kod stridentnog frekvencijska visina viša od uobičajene, a zvuk je čak sličan zvižduku. Pri korekciji tih frikativa stoga se koriste visinske optimalne ovih frikativa, što je za /s/ = 6 400 – 12 800 Hz, za /ʃ/ = 1 600 – 3 200 Hz, za /z/ = 4 800 – 9 600 Hz, a za /ʒ/ = 1 200 – 2 400 Hz. Ta su se optimalna frekvencijska područja pokazala vrlo efikasnim u otklanjanju izgovornih pogrešaka (Isto), primjerice u fonetskoj korekciji izgovora jer se filtriranjem kroz ta područja najbolje percipiraju (Mildner i Bakran, 2001), što je preduvjet pravilnoj produkciji.

U usporedbi s vrijednostima težišta i raspršenosti spektra frikativa, vidljivo je da one djelomično odgovaraju navedenim pojačanim područjima spektrograma i

visinskih optimala u fonetskoj korekciji, tj. ako je težište za /s/ na 8 641 Hz, a raspršenje 2 206 Hz, ta će najjača energija spektra šuma frikativa, koju navodi Bakran (1996), biti iznad 4 kHz te će biti obuhvaćena unutar optimalnog frekvencijskog područja koje navodi Vuletić (1987). Slično je i za /z/, dok se vrijednosti optimalnih frekvencijskih područja za postalveolarne frikative djelomično preklapaju s pojačanim dijelom spektra prema Bakranu (1996), a ne slažu s rezultatima ovog istraživanja prema kojima su prosječne vrijednosti težišta na frekvencijama višim od visinskih optimala. Ulogu u tome ima činjenica da su visinske optimalne psihoakustičke, a ne akustičke jedinice.

Nešto direktnija usporedba moguća je s rezultatima analize izgovora hrvatskih frikativa kod starijih ispitanika uredne denticije te onih s dentalnom protezom i bez nje (Horga i sur., 2013). Među tim rezultatima su i prosječne vrijednosti težišta frikativa, pa su vrijednosti onih uredne denticije: /s/ = 7 443 Hz, /ʃ/ = 3 813 Hz, /z/ = 5 959 Hz i /ʒ/ = 3 202 Hz. Sve su te vrijednosti nešto niže u odnosu na prosječne vrijednosti težišta ovog istraživanja, što navodi na mogući utjecaj starije dobi na vrijednost težišta spektra šuma frikativa te na zaključak da je ovakve normativne podatke potrebno nastaviti prikupljati za različite dobne skupine.

Mildner i Liker (2008) proučavali su hrvatske bezvučne frikative kod djece s ugrađenom umjetnom pužnicom. Rezultati prvog mjerenja pokazivali su nerazdvojenost dvaju bezvučnih frikativa, no mjerenje nakon manje od četiri godine pokazalo je da su se postupno centri gravitacije obaju frikativa djelomično razdvojili (težište /s/ = 6 886 Hz i /ʃ/ = 6 352 Hz), a njihova razlika dosegla statističku značajnost ( $p < 0,05$ ). U navedenom su se trenutku obje prosječne vrijednosti težišta nalazile između vrijednosti koje donosi ovo istraživanje za osobe urednog sluha, pokazivale su značajno razlikovanje dvaju frikativa i imale su tendenciju približavanja vrijednostima težišta koje za tipičan izgovor tih frikativa donosi ovaj rad.

Potrebno je detaljnije istražiti rezultate težišta zvučnih frikativa jer su rezultati težišta /z/ raspršeni čak od 512 Hz kroz cijelo frekvencijsko područje do 11 640 Hz. Budući da se neka težišta oba zvučna frikativa nalaze na frekvencijama ispod 2 000 Hz, pretpostavka je da su ti frikativi pod velikim utjecajem zvučnosti unatoč filtriranju pri pripremi segmenata. Rezultate zato treba uzeti s oprezom, a u budućim istraživanjima ispitati i druge mogućnosti filtriranja.

Rezultati Jonesa i McDougalla (2009) pri usporedbi frikativiranog /t/ u australskom engleskom s bezvučnim frikativima /s/ i /ʃ/ pokazuju da je prosječno



težište za /s/ (7 725 Hz) na višoj frekvenciji nego za /ʃ/ (4 774 Hz), a ta se razlika pokazala i statistički značajnom ( $p < 0,001$ ). Unatoč tome što su rezultati očekivano varirali među ispitanicima, unutar svakog ispitanika se zadržao takav odnos frikativa. Kod Gardnera (2013) težište /s/ (5 314 Hz) više je od težišta /ʃ/ (1 427 Hz). Kod Gordona i suradnika (2002) u većini istraženih jezika /s/ ima najviše težište, a iza njega slijedi /ʃ/, kao i u opisu šest sjevernovelških bezvučnih frikativa (Jones i Nolan, 2007), gdje je težište /s/ = 6 647 Hz, a /ʃ/ = 4 225 Hz. Autori navode značajne razlike među frikativima, ali i varijacije među govornicima.

Brojna istraživanja pronalaze povezanost vrijednosti težišta s mjestom artikulacije. Pri istraživanju frikativa u kontekstu razlika prema dobi i spolu ispitanika, Fox i Nissen (2005) mjerili su i prosječne vrijednosti težišta, nagiba i istaknutosti amplitude frikativa. Prema njihovim rezultatima čini se da je težište pod jakim utjecajem mjesta artikulacije, pa je tako težište /ʃ/ značajno niže od težišta mjerenih prednjih frikativa, što uključuje i /s/. Tendenciju da je prednjiji položaj jezika povezan s većom vrijednosti težišta navode i Gordon i suradnici (2002) koji objašnjavaju da zbog manjeg prostora ispred suženja (kod prednjih frikativa) dolazi do jačeg intenziteta rezonantnih frekvencija prednjeg dijela govornog trakta koje su najizraženiji izvor šuma frikativa. Tako su i Choo i Huckvale (1997, prema Jesus i Shadle, 2002) koristili centar gravitacije upravo za razlikovanje frikativa prema mjestu artikulacije. Zanimljivo je istraživanje koje su proveli Niemi i suradnici (2006) u kojemu su upravo pomoću četiri momenta spektra akustički analizirali razliku u izgovoru frikativa /s/ pri normalnom govoru i pri lokalnoj anesteziji desnog jezičnog živca. Ispitanici su pri anesteziji jezik postavljali još prednije, dodatno smanjujući prolaz zračnoj struji, pa su time i vrijednosti centra gravitacije bile veće. Da ta veza ipak nije tako jednostavna, potvrđuju Jones i Nolan (2007) koji tvrde da težište ovisi o veličini prednje šupljine, a ne izravno o mjestu artikulacije. Tome u prilog ide rezultat Gordona i suradnika (2002) za jezik Toda, gdje primjerice /s/ nema značajno viši centar gravitacije nego /ʃ/. Iako nije riječ izravno o težištu spektra, treba spomenuti i rad Jongmana i suradnika (2000, prema Jesus i Shadle, 2002) koji su zaključili da se mjesto vrha spektra snižavalo sa sve stražnjijim mjestom artikulacije. U ovom kontekstu, čini se da hrvatski lingvalni frikativi slijede tendenciju više frekvencije težišta kod prednjih frikativa.

Vrijednosti raspršenosti spektra dobivene ovim istraživanjem vrlo su slične onima koje su dobili Horga i suradnici (2013) na populaciji starijih govornika: /s/ = 2 261 Hz, /ʃ/ = 1 624 Hz, /z/ = 3 069 Hz i /ʒ/ = 1 782 Hz. U australskom

engleskom (Jones i McDougall, 2009) vrijednost za /ʃ/ = 1 648 Hz slična je vrijednosti hrvatskog frikativa, ali je vrijednost za /s/ = 1 403 Hz prilično niža. Tako je prema Gardneru (2013) raspršenje spektra kod /s/ (2 078 Hz) nešto više nego kod /ʃ/ (1 401 Hz), ali su obje vrijednosti za 200–300 Hz niže od vrijednosti za hrvatske frikative. Iako se mjera raspršenosti spektra u razlikovanju frikativa u oba ispitivana kriterija u hrvatskom jeziku pokazala statistički značajnom, u odnosu na ostale jezike ne pokazuje slaganje. Moguće je da je mjera raspršenosti spektra nestabilnija i pod jakim utjecajem uvjeta ispitivanja (npr. vokalske okoline, položaja frikativa u riječi i sl.) ili postoje pomaci u mjestu artikulacije ovih frikativa u različitim jezicima. Zasad se iz ovih rezultata može zaključiti da su predniji mjesto artikulacije i zvučnost povezani s većim raspršenjem energije spektra šuma.

Jak utjecaj na spektralni oblik frikativa ima i duljina šupljine ispred suženja i to tako da /s/ ima veću koncentraciju spektralne energije u višim frekvencijama jer ima kraću šupljinu ispred suženja (Harrington, 2013). Zbog turbulencija u dodiru sa zubima, i /s/ i /ʃ/ imaju više energije u višim frekvencijama (Stevens, 1971, prema Harrington, 2013).

Prosječni rezultati Horge i suradnika (2013) za nagib spektra šuma kod ispitanika starije dobi (/s/ = 0,5, /ʃ/ = 1,8, /z/ = 0,1 i /ʒ/ = 1,1) pokazuju da je nagib dentalnih frikativa prema nižim frekvencijama jer im je težište na višim frekvencijama, pa većina ostale energije u spektru i može biti samo ispod takvog visokog težišta (Isto: 42). Kod postalveolarnih frikativa stanje je obrnuto, a takve tendencije potvrđuju i rezultati ovog rada. Međutim, vrijednosti su puno niže od onih Horge i suradnika (2013), što je vidljivo na svim frikativima, dok za dentalne nagib čak ima negativnu vrijednost, što znači da je većina zvučne energije ispod težišta.

U istraživanju bezvučnih frikativa u ostalim jezicima (Fox i Nissen, 2005; Jones i McDougall, 2009; Gardner, 2013) /s/ i /z/ se prema nagibu spektra uvijek značajno razlikuju. Jones i McDougall (2009) su za /s/ dobili prosječnu vrijednost nagiba spektra od -3,626, a za /ʃ/ prosječno 0,465, ( $p = 0,017$ ). Vrijednost nagiba spektra u istraživanju Gardnera (2013) za /s/ je prosječno -0,15, a za /ʃ/ 3,11, što je i značajna razlika ( $p < 0,001$ ). Nagibi hrvatskih lingvalnih frikativa prema prosječnim vrijednostima nisu bliski ovim rezultatima, ali su usporedivi zbog negativnih vrijednosti za dentalne, a pozitivnih za postalveolarne frikative.

Istaknutost glavne amplitude (četvrti moment spektra) u istraživanju Fox i Nissen (2005) pokazala je da /s/ ima veću istaknutost nego /ʃ/ i značajan utjecaj

mjesta artikulacije. Gardner (2013) navodi potvrdu Jongmana (2000) da frikativ /s/ ima veću istaknutost nego ostali frikativi. Vrijednost za /s/ je prosječno 0,40, a za /ʃ/ 13,64. Za Jonesa i McDougalla (2009) istaknutost je glavne amplitude za /s/ = 37,333, a za /ʃ/ = 0,653, uz značajne varijacije i bez statistički značajne razlike, vjerojatno zbog velike raspršenosti rezultata. Te vrijednosti nisu slične istaknutosti glavne amplitude hrvatskih frikativa, no Shadle i Mair (1996) ionako navode da taj moment prilično varira među govornicima. Prema njihovim rezultatima za bezvučni frikativ /s/ vrijednost četvrtog momenta vrlo je velika, dok vrijednosti momenata općenito za bezvučne frikative podosta variraju, a samo je prvi moment relativno stabilan.

Već su Forrest i suradnici (1988, prema Jesus i Shadle, 2002) koristili momente spektra kako bi odredili uobičajen izgovor s namjerom da tako odrede i atipičan izgovor. Unatoč sumnjama Shadle i Mair (1996), novija istraživanja sve više pokazuju korisnost momenata spektra u kvantifikaciji spektra šuma frikativa.

## 6. ZAKLJUČCI

Ciljevi su ovog istraživanja bili analizirati i kvantificirati spektar šuma hrvatskih lingvalnih frikativa i na taj način utvrditi normativne podatke za uspješno razlikovanje tipičnih od atipičnih realizacija te za kvalitetno međusobno razlikovanje istraživanih frikativa.

Rezultati pokazuju da su od četiri momenta spektra šuma frikativa nabolji korelati za razlikovanje težište i raspršenje spektra šuma, a zatim slijede nagib spektra šuma i istaknutost glavne amplitude. Osim utvrđivanja korelata za međusobno razlikovanje frikativa, važna novost ovog rada je i određenje raspona prihvatljivih realizacija hrvatskih lingvalnih frikativa kod tipičnih (zdravih) govornika i to za sva četiri momenta spektra šuma. Rezultati su također pokazali da je trajanje frikativa dobar korelat za razlikovanje zvučnih od bezvučnih, ali slab za razlikovanje frikativa prema mjestu artikulacije, čime su potvrđeni rezultati nekih prijašnjih istraživanja. Vidljiva je i varijabilnost čiji uzroci mogu biti brojni (npr. vokalska okolina ili položaj frikativa u riječi), ali ju je važno imati na umu u primjeni rezultata.

Rezultati su važni za teorijsku i eksperimentalnu fonetiku jer na nov način kvantificiraju frikativni šum kod tipičnih govornika. Važnost rezultata je i u njihovoj daljnjoj primjeni u kliničkoj fonetici, logopediji i fonetskoj korekciji izgovora jer se

izgovor frikativa vrlo teško usvaja u razvoju govora, a atipičan izgovor frikativa je među najčešćim izgovornim poteškoćama. U kliničkoj praksi širok raspon rezultata često otežava određivanje atipičnog izgovora, pa je kvantifikacija te varijabilnosti vrlo korisna i potrebna (Liker i Gibbon, 2011) jer pokazuje da se tipičan izgovor glasnika teško može svesti na uske ili prosječne vrijednosti. Na kraju, ali ne manje važno, moguća je daljnja primjena rezultata u procjeni izgovora vokalnih profesionalaca te u sintezi umjetnog govora.

Nastavak istraživanja u području akustičke kvantifikacije šuma frikativa trebao bi biti usmjeren ispitivanju frikativa u značenjskim riječima, u spontanom govoru te u različitim dobnim skupinama, a treba uzeti u obzir i druge metode akustičke analize frikativa.

## Zahvala

Zahvaljujem doc. dr. sc. Marku Likeru na korisnim savjetima tijekom prikupljanja podataka i akustičke analize.

## REFERENCIJE

- Bakran, J.** (1996). *Zvučna slika hrvatskoga govora*. Zagreb: Ibis.
- Boersma, P., Weenink, D.** (2013). Praat: Doing phonetics by computer, <http://www.praat.org/> [pristup: listopad 2013].
- Fox, R. A., Nissen S. L.** (2005). Sex-related acoustic changes in voiceless English fricatives. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* **48**, 753–765.
- Fuchs, S., Brunner, J., Busler, A.** (2007). Temporal and spatial aspects in the realisations of the voicing contrast in German alveolar and postalveolar fricatives. *Advances in Speech Language Pathology* **9**, 1, 90–100.
- Gardner, M. H.** (2013). The acoustic and articulatory characteristics of Cape Breton fricative /t/. *Dialectologia et Geolinguistica* **21**, 3–20.
- Gordon, M., Barthmaier, P., Sands, K.** (2002). A crosslinguistic acoustic study of voiceless fricatives. *Journal of the International Phonetic Association* **32**, 141–174.
- Harrington, J.** (2013). Acoustic phonetics. U W. J. Hardcastle, J. Laver, F. E. Gibbon (ur.), *The Handbook of Phonetic Sciences*, 81–129. Malden: Blackwell Publishing.
- Horga, D., Badel, T., Liker, M., Vidović, A.** (2013). Utjecaj zubne proteze na izgovor frikativa. *Hrvatska revija za rehabilitacijska istraživanja* **49**, 37–49.

- 
- Jesus, L. M. T., Shadle, Ch. H. (2002). A parametric study of the spectral characteristics of European Portuguese fricatives. *Journal of Phonetics* 30, 437–464.
- Jones, M. J., Nolan, F. (2007). An acoustic study of North Welsh voiceless fricatives. *Proceedings of the ICPhS 16 in Saarbrücken*, 873–876.
- Jones, M. J., McDougall, K. (2009). The acoustic character of fricated /t/ in Australian English: A comparison with /s/ and /ʃ/. *Journal of the International Phonetic Association* 39, 3, 265–289.
- Kent, R. D., Read, Ch. (2002). *The Acoustic Analysis of Speech*. Canada: Singular.
- Koenig, L. L., Lucero, J. C., Perlman, E. (2008). Speech production variability in fricatives of children and adults: Results of functional data analysis. *Journal of the Acoustical Society of America* 124, 3158–3170.
- Ladefoged, P., Maddieson, I. (1996). *The Sounds of the World's Languages*. Oxford, Cambridge: Blackwell Publishers.
- Landau, E., Lončarić, M., Horga, D., Škarić, I. (1999). Croatian. *Handbook of the International Phonetics Association: A Guide to the Use of the International Phonetic Alphabet*, 66–69. Cambridge: Cambridge University Press.
- Li, F., Edwards, J., Beckman, M. E. (2009). Contrast and covert contrast: The phonetic development of voiceless sibilant fricatives in English and Japanese toddlers. *Journal of Phonetics* 37, 111–124.
- Liker, M., Gibbon, F. (2011). Groove width in Croatian voiced and voiceless postalveolar fricatives. *The 17th International Congress of Phonetic Sciences: Proceedings*, 1238–1241. Hong Kong: City University Hong Kong.
- Liker, M., Horga, D., Mildner, V. (2012). Electropalatographic specification of Croatian fricatives /s/ and /z/. *Clinical Linguistics & Phonetics* 26, 3, 199–215.
- Mildner, V., Bakran, J. (2001). Acoustic correlates of phonetic correction. *Clinical Linguistics & Phonetics* 15, 1–2, 151–155.
- Mildner, V., Liker, M. (2008). Fricatives, affricates, and vowels in Croatian children with cochlear implants. *Clinical Linguistics & Phonetics* 22, 10–11, 845–856.
- Niemi, M., Laaksonen, J. P., Ojala, S., Aaltonen, O., Happonen, R. P. (2006). Effects of transitory lingual nerve impairment on speech: An acoustic study of sibilant sound /s/. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 35, 920–923.
-

- Shadle, C. H.** (2013). The aerodynamics of speech. U W. J. Hardcastle, J. Laver, F. E. Gibbon (ur.), *The Handbook of Phonetic Sciences*. Malden: Blackwell Publishing.
- Shadle, C. H., Mair, S. J.** (1996). Quantifying spectral characteristics of fricatives. *Proceedings of the International Conference on Spoken Language Processing (ICSLP 96)*, 1521–1524. Philadelphia, U.S.A.
- Škarić, I.** (2007). Fonetika hrvatskoga književnoga jezika. U A. Kovačec (ur.), *Glasovi i oblici hrvatskoga književnoga jezika*. Zagreb: Nakladni zavod Globus.
- Varošanec-Škarić, G.** (2010). *Timbar*. Zagreb: FF press.
- Vuletić, D.** (1987). *Govorni poremećaji: izgovor*. Zagreb: Školska knjiga.
-

**Nives Vujasić**

*nvujasic@ffzg.hr, nives.vujasic@gmail.com*

Petrinja, Croatia

## Acoustic analysis of noise spectrum in Croatian lingual fricatives

### Summary

Pronunciation of lingual fricatives is complex and the incidence of distortions is high, so there is the need for detailed analysis of these sounds. Investigations of Croatian fricatives are mostly based on visual inspection of spectrograms, without quantitative measures of spectral characteristics. Noise spectrum of fricatives has a chaotic spectral composition, so the quantitative analysis of such sounds is complex. Recently, in other languages, spectral moments (centre of gravity, spectrum standard deviation, skewness and kurtosis) are frequently used to precisely quantify all aspects of noise spectrum.

Therefore, the aim of this study is to analyze and quantify the noise spectrum in Croatian lingual fricatives by using the four spectral moments, and to use these measures to provide objective differentiation between four lingual fricatives. Variability of typical fricative productions is also presented in order to simplify the differentiation between typical and atypical productions.

For this purpose, typical productions from 31 speakers with the average age of 23 was acoustically analyzed. Each subject was recorded in a sound-treated studio, reading a list of 12 nonsense words 5 times, with the examined lingual fricatives in the second syllable and in a symmetrical vowel environment. The total of 1 860 samples was analyzed in the Praat software, while the analyses, data visualization and statistical analysis of the results were done in Microsoft Excel.

According to the results, centre of gravity and spectral standard deviation are the best acoustic correlates for distinguishing fricatives. This investigation also presents ranges of values of the measured variables, which helps to differentiate typical and atypical fricatives productions and indicates the variability of typical productions.

The application of these results is possible in clinical phonetics and phonetic correction, as well as in assessing the pronunciation of vocal professionals and speech synthesis.

**Key words:** Croatian language, lingual fricatives, spectral moments, acoustic analysis