

4. Tradicionalni i suvremeni pristupi u analizi fundamentalne frekvencije

Fundamentalna ili osnovna frekvencija (F_0)²³ temeljna je frekvencija glasa i odgovara brzini kojom vibriraju glasnice. Određena je anatomijom larinksa, a ovisi i o odnosu duljine, mase i napetosti glasnica. Varijacije između govornika (djece, muškaraca i žena) u F_0 odraz su različitih dimenzija vokalnog trakta. Velike glasnice vibriraju nižom frekvencijom, a manje glasnice višom. Kako žene i djeca imaju u prosjeku manje glasnice od muškaraca, one imaju i veću brzinu vibriranja glasnica i posljedično više vrijednosti F_0 od muškaraca za isti lingvistički zvuk (Rose, 2002: 39).

Traunmüller i Eriksson (1995a) donose prosječne vrijednosti F_0 za prosječne europske govornike ($N_Z = 471$, $N_M = 471$), a koje iznose 207 Hz (SD 2,7) za žene i 119 Hz (SD 2,8) za muškarce. Osim spola, i dob je jedan od fizioloških čimbenika (Braun, 1995) koji utječe na F_0 . Degenerativni procesi koji prate starenje zaslužni su za promjene u obliku vokalnog trakta od zrelosti do starosti. Atrofija mišića i kosti kao i promjene u sluznici zaslužni su za cjelokupne promjene u obliku supralaringalnoga vokalnog trakta. Isto tako, promjenama F_0 pridonose i fluktuacije hormona tijekom života (Traunmüller i Eriksson, 1995a). Međutim, postojeći radovi nisu ujednačeni oko učinka koji dob ima na osnovni ton, iako se slažu da se F_0 ne mijenja drastično nakon puberteta. Neka su istraživanja utvrdila da se promjena dobi više zamjećuje u osnovnom tonu muških nego ženskih glasova (Iseli, Shue i Alwan, 2007; Stathopoulos, Huber i Sussman, 2011; Biočina, 2019), dok druga nisu uočila razlike između mlađe i starije skupine muških govornika, ali zato bilježe veće promjene u F_0 kod žena (Goy, Fernandes, Pichora-Fuller i van Lieshout, 2013). Prema istraživanju Iseli, Shue i Alwan (2007: 2289) kod muškaraca se prosječna F_0 snizi za otprilike 130 Hz između osme i 20. godine, s najvećim padom između 12. i 15. godine (105 Hz). Kod žena taj pad iznosi sveukupno otprilike 50 Hz, a F_0

²³ U ovoj knjizi za osnovnu ili fundamentalnu frekvenciju koristit će se oznaka F_0 , a u literaturi se pojavljuju i oznake f_0 i $F0$, iako se $F0$ češće koristi za oznaku nultog formanta.

im nakon puberteta ostaje uglavnom nepromijenjena sve do ulaska u menopauzu. Pretpostavlja se da zbog velikih hormonalnih promjena kroz koje žene prolaze tijekom menopauze dolazi do pada fundamentalne frekvencije. Stathopoulos, Huber i Sussman (2011) pak utvrđuju da se F_0 kod žena do 60. godine smanjuje, iako manje nego kod muškaraca, a od 80. godine života opet se blago podiže. Međutim, Rose (1991, prema Rose, 2002) za govornike kineskog dijalekta Wu ne utvrđuje nikakve razlike u prosječnoj F_0 između muškaraca i žena, bez obzira na dob, dok je jedno novije istraživanje pokazalo da su razlike s obzirom na spol jednake u različitim jezicima (Pépito, 2014).

Longitudinalne studije promatraju iste govornike više godina i stoga daju pouzdanije rezultate jer kontroliraju individualne varijacije (za razliku od istraživanja koja uspoređuju različite govornike različitih dobnih skupina). Međutim, takva su istraživanja rijetka jer su vrlo dugotrajna i iziskuju veliku posvećenost istraživača, ali i dostupnost ispitanika kroz duže razdoblje. Postojeće longitudinalne studije (Harrington, 2006; Reubold, Harrington i Kleber, 2010) ukazuju na smanjene F_0 kod istog govornika s povećanjem dobi. No, Reubold, Harrington i Kleber (2010) na temelju rezultata nekoliko longitudinalnih istraživanja upozoravaju kako se ne može generalizirati utjecaj dobi na F_0 , već je on specifičan kod svakog govornika. Biočina (2019) je u svojoj disertaciji na 150 bračkih govornika različite dobi i spola ispitala, između ostalog, i utjecaj dobi na prosječne vrijednosti različitih mjera F_0 . Prema rezultatima prosječna F_0 , medijan F_0 i SD F_0 statistički značajno rastu kod muškaraca s povećanjem dobi. Ti rezultati idu u prilog radovima koji su utvrdili veće i značajnije promjene u F_0 s povećanjem dobi u muških nego ženskih govornika (Iseli, Shue i Alwan, 2007; Stathopoulos, Huber i Sussman, 2011). No kod žena su starije govornice uistinu imale niže prosječne vrijednosti gotovo svih mjera F_0 od mlađih, iako ne niže od govornica srednje dobi. Međutim, te se razlike nisu pokazale statistički značajnima. Nešto više vrijednosti prosječne F_0 kod starijih govornika u odnosu na srednju dob vjerojatno su posljedica tremora glasa, koji je zamijećen u vrlo starih govornika u promatranom korpusu. Kao što je već navedeno, Stathopoulos, Huber i Sussman (2011) uočavaju da se kod žena do 60. godine F_0 smanjuje, a od 80. godine života opet se blago podiže. Razlog povećanju F_0 u žena starije dobi u odnosu na žene mlađe dobi u istraživanju koje je provela Biočina (2019) može biti u nekoliko govornica starijih od 79 godina čije su vrijednosti možda mogle pridonijeti blagom povećanju prosječne F_0 u toj dobnoj skupini. Također, neke od vrlo starih govornica imale su vokalni tremor za koji su neka istraživanja pokazala da povećava vrijednosti fundamentalne frekvencije (Brückl i Sendlmeier, 2003; Lestera i Storya, 2013).

Naposljetku, i ovo je mjerenje, kao i neka druga (Iseli, Shue i Alwan, 2007; Stathopoulos, Huber i Sussman, 2011), utvrdilo veće promjene u fundamentalnoj frekvenciji s povećanjem dobi u muških nego ženskih govornika. Govornici mlađe

i srednje dobne skupine nisu se statistički razlikovali u prosječnim vrijednostima mjera fundamentalne frekvencije (Biočina, 2019). Isto istraživanje za mjere F_0 i $\text{Alt } F_0$ utvrđuje samo statistički značajne razlike između spolova, a ne i između dobnihi skupina.

Osim fizioloških čimbenika, na F_0 utječu i glasnoća (Jessen, 2008), prikrivanje glasa (Nolan, 1983), jezik i vrsta diskursa. Usporedbe velikog broja germanskih i slavenskih govornika pokazale su da slavenski govornici imaju značajno više vrijednosti prosječne, maksimalne, medijana i SD F_0 od germanskih govornika (Demchenko, Möbius i Andreeva, 2014; Andreeva i sur., 2014). Autori to objašnjavaju tendencijom jezičnih zajednica da imaju određene frekvencijske profile. Mjerenja na manjem uzorku bilingvalnih govornika (Schwab i Goldman, 2016) ukazuju na to da razlikovanje među jezicima u F_0 možda nije univerzalno. Prema njihovu istraživanju govornici samo ponekad mijenjaju F_0 kada govore drugim jezikom, no to je posebice izraženo ako je jedan od tih jezika engleski. Stupanj poznavanja jezika nije imao utjecaja na F_0 .

Istraživanje triju geografski i jezično bliskih skupina govornika, govornika hrvatskog, slovenskog i srpskog, pokazalo je veće sličnosti u mjerama fundamentalne frekvencije između hrvatskih i slovenskih nego hrvatskih i srpskih govornika (Varošaneć-Škarić, Biočina i Kišiček, 2017). I u ranijim usporedbama hrvatski i srpski mlađi govornici značajno su se razlikovali s obzirom na mjere fundamentalne frekvencije, posebice u medijanu F_0 , pri čemu su hrvatski govornici imali značajno niže vrijednosti F_0 (Biočina, Varošaneć-Škarić i Bićanić, 2016; Varošaneć-Škarić, Biočina i Bićanić, 2016), no na većem uzorku ta razlika nije utvrđena (Bašić, 2018). Navedena mjerenja sa srpskim i hrvatskim govornicima utvrdila su da su razlike između jezika bile veće od razlika između spontanog govora i čitanja u istom jeziku (Biočina, Varošaneć-Škarić i Bićanić, 2016; Varošaneć-Škarić, Biočina i Bićanić, 2016; Varošaneć-Škarić, Biočina i Kišiček, 2017).

Keating i Kuo (2012) također su utvrdile razlike u F_0 s obzirom na jezik i diskurs pa govornici mandarinskog imaju višu maksimalnu i prosječnu F_0 i veće raspone F_0 od engleskih govornika kad se ona mjeri u riječi, a kad se mjeri u čitanju, razlika postoji samo u prosječnoj F_0 . To istraživanje potvrđuje zaključke Traunmüller i Eriksson (1995a) da je F_0 veća u tonskim nego u netonskim jezicima, a ujedno i ukazuje na velik učinak vrste diskursa na vrijednosti F_0 . To je samo jedno u nizu istraživanja koje ukazuje na varijacije u prosječnoj fundamentalnoj frekvenciji ovisno o vrsti diskursa (Traunmüller i Eriksson, 1995; Keating i Kuo, 2012; Skarnitzl i Vaňková, 2016; 2017; Biočina, Varošaneć-Škarić i Bićanić, 2016; Varošaneć-Škarić, Biočina i Bićanić, 2016; Varošaneć-Škarić, Biočina i Kišiček, 2017). Traunmüller i Eriksson (1995) utvrđuju da se SD F_0 smanjuje s povećavanjem živosti diskursa; u većini življih diskursa (npr. u glumačkom govoru) žene imaju veću SD F_0 od muškaraca, ali je u manje živim tipovima diskursa niža nego kod muškaraca (npr.

u čitanju tekstova za klinička ispitivanja glasa). I istraživanja s češkim (Skarnitzl i Vaňková, 2016; 2017) te hrvatskim i srpskim muškim govornicima (Biočina, Varošaneć-Škarić i Bićanić, 2016; Varošaneć-Škarić, Biočina i Bićanić, 2016) pokazuju niže vrijednosti prosječne F_0 za spontani govor nego za čitanje. Navedene razlike treba posebice uzeti u obzir kad se uspoređuju vrijednosti F_0 iz različitih istraživanja. Iz navedenog je razvidno da vrijednosti F_0 mogu varirati u govoru jedne osobe, a Braun (1995) klasificira čimbenike koji utječu na varijaciju na tehničke (npr. veličina uzorka), fiziološke (npr. spol, pušenje) i psihološke (npr. emocionalno stanje, pozadinska buka). Varošaneć-Škarić (2010), naprimjer, utvrđuje razlike u F_0 između pušača i nepušača. Pritom nalazi veće značajne razlike između pušača i nepušača kod muškaraca nego kod žena. Pušači su imali značajno niže vrijednosti prosječne, minimalne i maksimalne F_0 u odnosu na nepušače, a pušačice samo značajno niže prosječne maksimalne vrijednosti i manje raspone F_0 (Varošaneć-Škarić, 2010: 139–140). Autorica razliku između pušača i nepušača objašnjava većom brigom o glasu kod žena i manjim intenzitetom ostalih po glas loših životnih navika. Međutim, neki fizički parametri kao što su visina i težina nemaju utjecaja na F_0 (Künzel, 1989), kao ni neki tehnički čimbenici, poput automatskog ili ručnog mjerenja F_0 (Keating i Kuo, 2012).

Unatoč prethodno navedenim izazovima fundamentalna se frekvencija već dugo koristi u forenzičnoj fonetici kao robusna mjera u različitim uvjetima snimanja (Nolan, 1983; Braun, 1995; Traunmüller i Eriksson, 1995; Rose, 2002; Lindh, 2006 itd.) te se pokazala kao najučinkovitiji kriterij za razlikovanje govornika (Nolan, 1983: 129). F_0 ispunjava i tri glavna uvjeta koja su važna u forenzičnom prepoznavanju govornika, a to su robusnost, mjerljivost i dostupnost (Nolan, 1983). Također, neosjetljiva je na lingvistički sadržaj zvučnog odsječka (Kinoshita i sur., 2009). Iako je pitanje dužine zvučnog zapisa vrlo važno u forenzičnoj fonetici, ne postoji dogovor među stručnjacima koliko je vremena potrebno da se F_0 stabilizira. Vrijednosti variraju od jedne (Nolan, 1983) do dvije minute (Baldwin i French, 1990), a neka novija istraživanja bilježe stabilizaciju i unutar 30 sekundi od početka snimke (Arantes i Eriksson, 2014; Arantes i sur., 2017). Novija saznanja ukazuju na brže vrijeme stabilizacije određenih mjera F_0 neovisno o vrsti diskursa (Arantes i Eriksson, 2014; Arantes i sur., 2017). Prema potonjima bazična se vrijednost (F_b) stabilizira u značajno kraćem vremenu (oko 5 s) od prosječne F_0 i medijana F_0 (oko 10 s) u svim istraživanim jezicima.

F_0 se najčešće računa putem računalnih programa napravljenih za tu svrhu te je stoga relativno jednostavna za mjerenje. Možda upravo to pridonosi činjenici da je prosječna fundamentalna frekvencija jedna od rijetkih mjera za koju postoji statistika za populaciju (Jessen, 2008). Gold i French (2011) izračunali su učestalost korištenja pojedinih mjera F_0 u svijetu, a njihovi rezultati pokazuju kako 94 % stručnjaka iz područja forenzične fonetike koristi prosječnu F_0 , dok samo 25 %

koristi F_b . To iznenađuje s obzirom na to da je bazična vrijednost (F_b) robusnija mjera od F_0 te bolje predstavlja individualne karakteristike govornika, što su već potvrdila brojna istraživanja (Traunmüller, 1994; Traunmüller i Eriksson, 1995; Lindh, 2006; Arantes i Eriksson, 2014; Varošaneć-Škarić i sur., 2016; Biočina i sur., 2016; Varošaneć-Škarić i sur., 2017; da Silva i sur., 2016; Arantes i sur., 2017; Biočina, 2019). Nadalje, F_b je otpornija mjera i s obzirom na čimbenike kao što su govornikove emocije i vokalni napor (Arantes i Eriksson, 2014). Računa se iz prosječne F_0 ili medijana F_0 , a većina autora ukazuje na to da je precizniji izračun iz medijana jer je to robusnija mjera na čije vrijednosti manje utječu oktavna skakanja, za razliku od prosječne F_0 (Lindh, 2006; Arantes i Eriksson, 2014; da Silva i sur., 2016; Arantes i sur., 2017). Bazična vrijednost na temelju medijana pokazala se robusnijom i u mjerenjima u spontanome dijalektalnom govoru u odnosu na neke tradicionalne mjere poput minimalne i maksimalne F_0 (Biočina, 2019). Naime, u preliminarnom su mjerenju dijalektalnoga spontanog govora gotovo svi govornici imali prosječne minimalne i maksimalne vrijednosti osnovnog tona približno iste postavljenim frekvencijskim ograničenjima (65/75 Hz i 350 Hz). No, to nije odraz stvarnih vrijednosti, već očitavanje tragova fundamentalne frekvencije u nižim (npr. laringalizacija) i višim (npr. oktavna skakanja) dijelovima spektra, a blizu granične frekvencije računanja F_0 određene skriptom. Navedeno ukazuje na to da su minimalna i maksimalna F_0 manje robusne od medijana ($C F_0$) ili prosječne bazične vrijednosti na temelju medijana (F_b), što su potvrdila i brojna druga istraživanja (Lindh, 2006; 2006a; Arantes i Eriksson, 2014; da Silva, da Costa, Miranda i Del Galdo, 2016; Arantes, Eriksson i Gutzeit, 2017; Skarnitzl i Vaňková, 2017; Bašić i Biočina, 2020).

Interpretacija F_0 ovisi o podacima koji postoje za relevantnu populaciju i o razlikama koje postoje u govoru jednog govornika i među različitim govornicima (Hudson, Jong, McDougall, Harrison i Nolan, 2007; Jessen, 2008). Tomu treba još pridodati i metodologiju istraživanja kao i profil snimljenih govornika. Naime, u 2. poglavlju prikazano je istraživanje Bašić i Biočine (2020) koje je pokazalo kako neoptimalna udaljenost govornika od mikrofona, posebice prevelika, može utjecati na rezultate akustičke analize fundamentalne frekvencije, zbog čega je uputno tijekom snimanja govornika sustavno nadzirati njihovu udaljenost od mikrofona.

4.1. Izazovi u mjerenju fundamentalne frekvencije

Računanje fundamentalne frekvencije putem računalnih programa napravljenih za tu svrhu najčešća je metoda mjerenja F_0 u forenzičnoj fonetici posljednjih 20 godina (Baldwin i French, 1990; Lindh, 2006; 2006a; Hudson i sur., 2007). Najčešće se mjeri pomoću automatiziranih skripti u programima za akustičku analizu zvuka poput Praata (Boersma i Weenink, 2015). U Praatu je uputno ograničiti postavke

na raspon od 65 Hz do 350 Hz za muškarce odnosno od 70 Hz do 350 Hz za žene kako bi se dobile sve moguće frekvencije raspona fundamentalne frekvencije te izbjegla oktavna skakanja, harmonici i stridensi (Lindh, 2006; 2006a; Biočina, Varošaneć-Škarić i Bićanić, 2016; Varošaneć-Škarić, Biočina i Bićanić, 2016; Varošaneć-Škarić, Biočina i Kišiček, 2017; Biočina, 2019). Hudson, Jong, McDougall, Harrison i Nolan (2007: 1810) ograničavaju postavke u Praatu na raspon od 50 Hz do 300 Hz za nedijalektalne muške govornike britanskoga engleskog jezika kako bi izbjegli „nepoželjne“ niske frekvencije, a vrlo su izdašno zadali ograničenje za visoke frekvencije. Kretanje se osnovnog tona u Praatu preporuča provjeriti i ručno. Prednost je te metode vremenska ušteda koja se ostvaruje u slučaju velikog broja uzoraka i varijabli. U jednome novijem istraživanju (Keating i Kuo, 2012) uspoređeno je ručno računanje fundamentalne frekvencije s automatskim računanjem. Rezultati su pokazali da se ukupne vrijednosti, iako su se pri ručnom načinu preciznije mjerile neke vrijednosti F_0 (npr. minimalna F_0), nisu statistički značajno razlikovale između tih dvaju načina (Keating i Kuo, 2012: 1059). Također, pokazalo se da je ručno mjerenje manje pogodno za povezani govor, a i iziskuje puno više vremena od automatskog (Keating i Kuo, 2012: 1059–1060).

Kod mjerenja fundamentalne frekvencije uvijek treba uzeti u obzir i sve prethodno navedene čimbenike poput dobi i spola govornika, govornih navika govornika, vrste diskursa i jezika, ali i robusnost mjera koje se izračunavaju. Uputno je za izračun prosječnih vrijednosti mjera fundamentalne frekvencije koristiti zvučne odsječke u trajanju od barem jedne minute zbog stabilizacije F_0 .

Kod interpretacije rezultata mjerenja fundamentalne frekvencije i njihove usporedbe s drugim mjerenjima treba uzeti u obzir da su rezultati longitudinalnih studija uvijek pouzdaniji jer se može kontrolirati više čimbenika nego kada se uspoređuju različite dobne skupine u različitim govornika. Uputno je provjeriti i zabilježiti navike govornika jer primjerice govornici koji puše mogu imati niže vrijednosti F_0 (Varošaneć-Škarić, 2010). Također, dobne skupine treba oprezno određivati jer postojeća istraživanja nisu ujednačena oko učinka dobi na osnovni ton glasa, pa postojeće podjele u sociolingvističkoj literaturi treba oprezno tumačiti. Nadalje, poželjno je da kada statistički uspoređujemo rezultate, imamo uzorak $N > 30$ govornika. Naime, Varošaneć-Škarić, Biočina i Kišiček (2017) primijetile su da je za pouzdanije rezultate F_0 vrlo važno imati velik broj homogenih govornika (približno ista dob, spol i jezik) jer se tada sigurnije mogu uspoređivati razlike među grupama govornika.

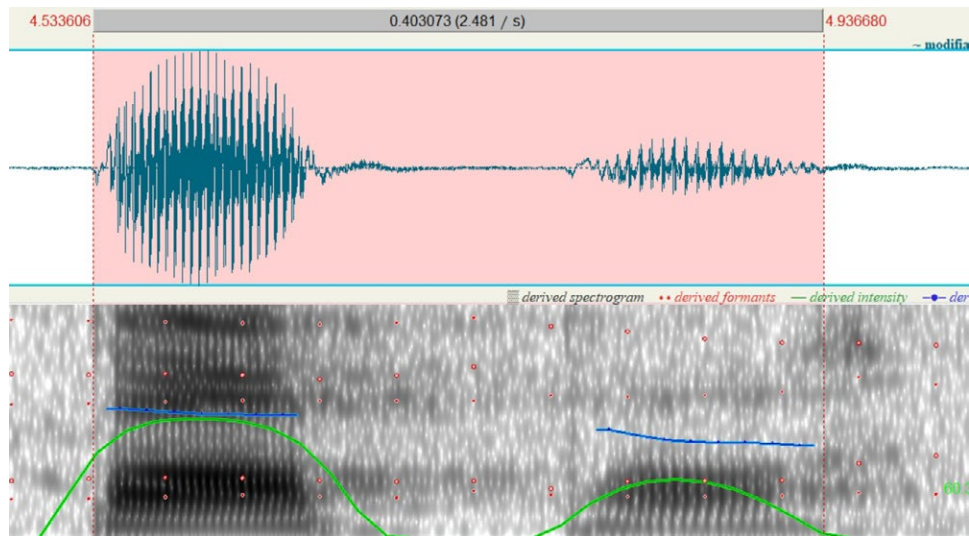
4.2. Inherentna (intrinzična) fundamentalna frekvencija

Osim u duljim snimkama govora (spontanog govora, čitaćeg govora itd.) vrijednosti fundamentalne frekvencije moguće je analizirati i u unutar pojedinog gla-

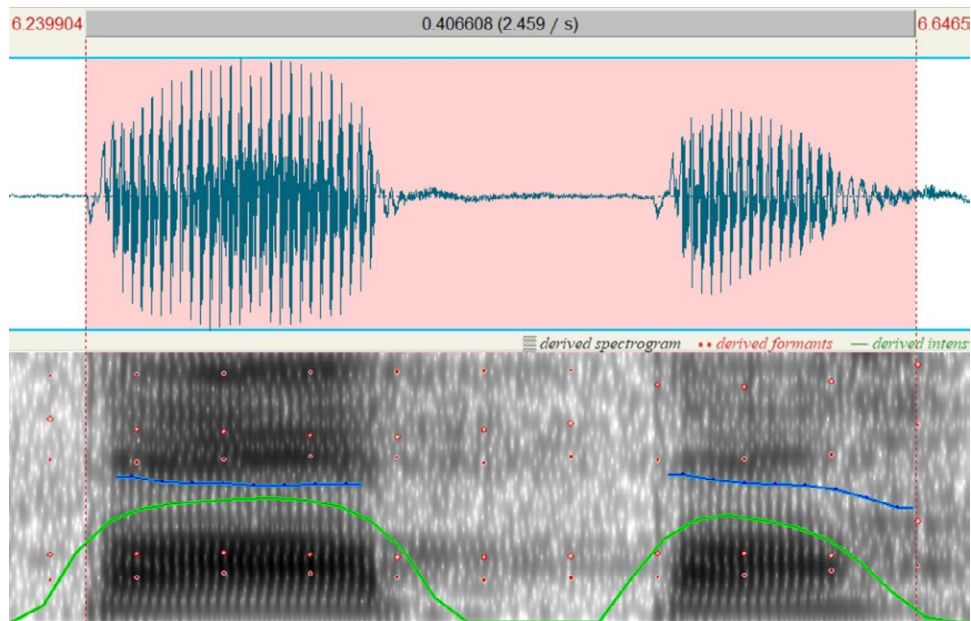
snika. Intrinzičnom ili inherentnom fundamentalnom frekvencijom (F_0 ili I_{pitch}) analizira se osnovni ton koji je, s obzirom na to da ga mjerimo u glasniku, u tom slučaju u funkciji segmenta. Najčešće analiziramo inherentnu fundamentalnu frekvenciju vokala, iako ju je moguće analizirati u svim zvučnim govornim segmentima. Primjerice, u kontekstu forenzične fonetike ponekad su značajne pune stanke (npr. [ə:]) u kojima se u slučaju da pridonose idiosinkratičnosti govornika može izračunati njihova intrinzična F_0 , kao i formanti.

Pri analizi intrinzične fundamentalne frekvencije nužno je spomenuti i očekivana ograničenja te mjere. S obzirom na to da na ton glasa općenito i naglaske riječi značajno utječe rečenična intonacija (koja im je nadređena), inherentnu je fundamentalnu frekvenciju uputno analizirati u izolirano izgovorenim riječima (kada je eliminiran utjecaj rečenične intonacije na ton u pojedinom glasniku) ili pak u tipskim rečenicama u kojima nam je u fokusu samo ciljani riječ (npr. „Na slici je patka.“), odnosno ciljani glasnik. Prethodna su istraživanja pokazala da je pri izgovoru visokih vokala [u] i [i] zbog položaja tijela jezika viša intrinzična F_0 nego kod niskih vokala, primjerice kod vokala [a] (kod istih govornika). Osim spomenutog, u hrvatskom je jeziku zanimljivo promatrati utjecaj naglasaka hrvatskog jezika na varijabilnost F_0 u identičnome jezičnom materijalu.

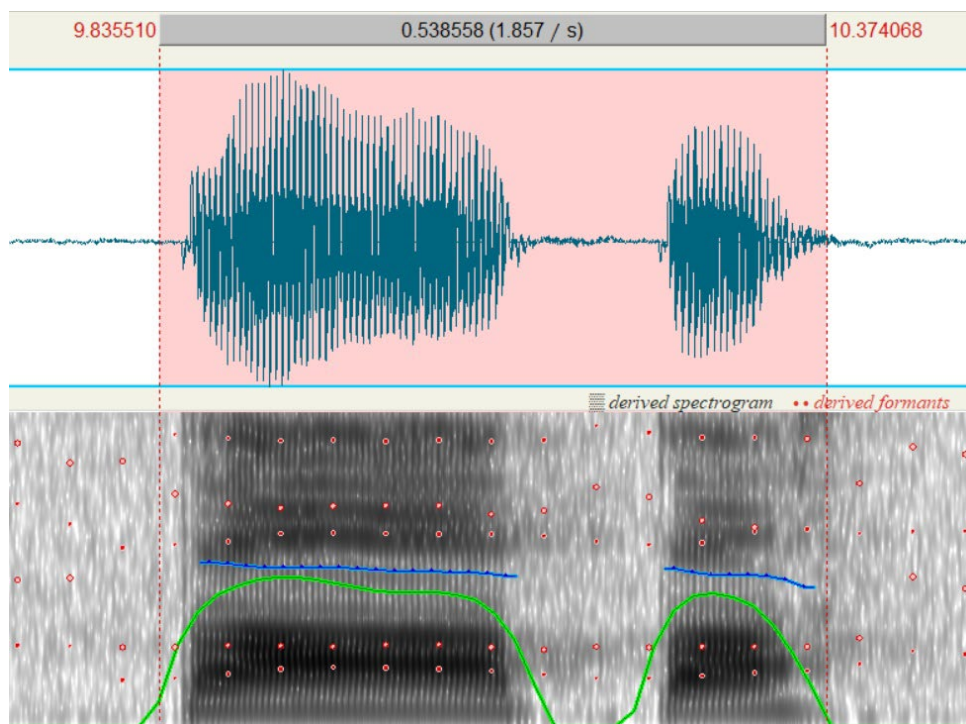
Na slikama 11, 12, 13, 14 i 15 u nastavku teksta prikazani su spektrogramski prikazi logatoma [papa] ostvareni s različitim naglascima (kratkosilaznim, kratkouzlaznim, dugosilaznim i dugouzlaznim naglaskom). Na slikama su prikazane intenzitetske i tonske krivulje, a u tablici 4 iskazane su vrijednosti intrinzične F_0 .



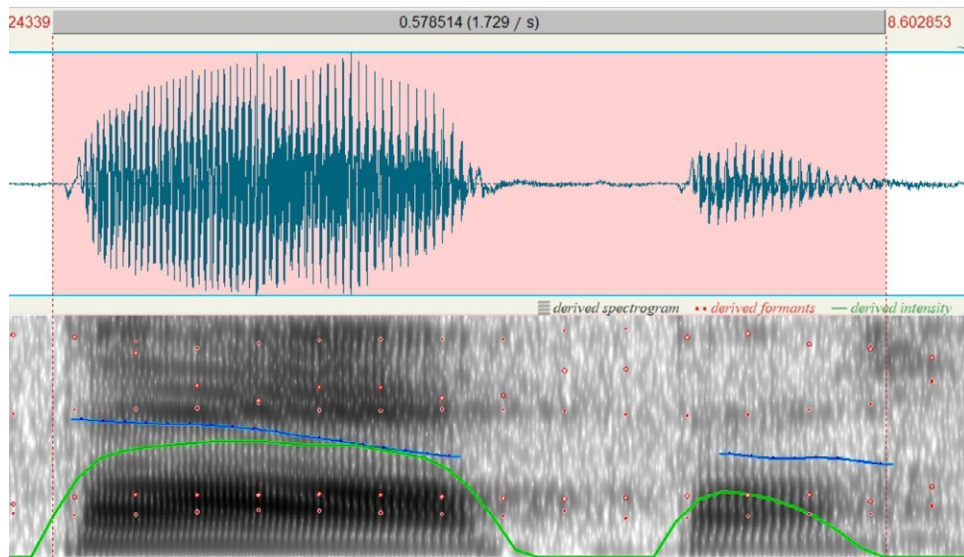
Slika 11. Spektrogramski prikaz logatoma [papa] s kratkosilaznim naglaskom na prvom slogu



Slika 12. Spektrogramski prikaz logatoma [papa] s kratkouzlaznim naglaskom na prvom slogu



Slika 13. Spektrogramski prikaz logatoma [papa] s dugosilaznim naglaskom na prvom slogu



Slika 14. Spektrogramski prikaz logatoma [papa] s dugouzlaznim naglaskom na prvom slogu

Tablica 4. Prikaz vrijednosti intrinzične fundamentalne frekvencije (IF₀) u naglašenome prvom slogu logatoma [papa] s različitim naglascima

	kratkosilazni naglasak (slika 11)	kratkouzlazni naglasak (slika 12)	dugosilazni naglasak (slika 13)	dugouzlazni naglasak (slika 14)
IF ₀ naglašenog sloga	220 Hz	207 Hz	200 Hz	200 Hz

Iz vrijednosti intrinzične fundamentalne frekvencije prikazanih u tablici 4 vidljivo je da je na identičnome jezičnom materijalu pri izgovoru naglasaka hrvatskog jezika IF₀ prvoga naglašenog sloga najviših vrijednosti pri izgovoru kratkosilaznog naglasaka (220 Hz), potom pri izgovoru kratkouzlaznog (207 Hz), dok su IF₀ prvoga naglašenog sloga pri izgovoru dugih naglasaka istih vrijednosti.

Iako intrinzična fundamentalna frekvencija ima svojevrсна ograničenja, i dalje može biti korisna kao pomoćna mjera. Međutim, njezina ograničenja značajnije su povezana s varijabilnošću fundamentalne frekvencije u vezanom govoru pojedinca, a posebice među govornicima istog jezika. Neki su autori ispitali razlike u intrinzičnoj F₀ među različitim jezicima, međutim, i dalje ostaje upitno odražavaju li te razlike varijabilnost među govornicima ili pak među različitim jezicima.

4.3. Prosječne vrijednosti mjera fundamentalne frekvencije za hrvatske govornike

Prosječne vrijednosti fundamentalne frekvencije za hrvatske govornike mjere se posljednjih tridesetak godina na različitim skupinama govornika. Pritom se F_0 najčešće mjerila iz fonacije, u riječi ili u čitanju, a puno rjeđe u spontanom govoru, iako su vrijednosti iz potonjeg korisnije u forenzičnoj fonetici jer odražavaju idiosinkratične osobine govornika. Na temelju spontanog govora Biočina (2019) je izračunala prosječnu fundamentalnu frekvenciju većeg broja bračkih govornika.

Za hrvatski govor Škarić (1991) navodi prosječne vrijednosti F_0 za muškarce (120 Hz), žene (220 Hz) i djecu (300 Hz). U knjizi ne iznosi metodološke pojedinosti pa se ne zna na kojem su uzorku govornika izračunate navedene vrijednosti ni kako su mjerene. Autor dalje u tekstu navodi da je vrijednost osnovnog tona „u suodnosu s veličinom glasnica, koje su u odraslih muškaraca duljine 17 do 24 mm, u odraslih žena 13 do 17 mm, a u djece sve kraće što su mlađa“ (Škarić, 1991: 108).

Varošanec-Škarić u nekoliko je radova mjerila vrijednosti F_0 vrlo ugodnih, prosječnih te neugodnih glasova. Na vrlo velikom uzorku ($N = 207$) hrvatskih govornika analizirala je F_0 muških i ženskih glasova u čitanju frikativnog i nefrikativnog teksta (Varošanec-Škarić, 1998). Rezultati pokazuju da su ugodni ženski glasovi znatno nižega prosječnog osnovnog tona (151,4 Hz) od neugodnih ženskih glasova (185,4 Hz). Slično je zabilježeno i za muškarce, pa muški ugodni glasovi imaju prosječno vrlo nisku F_0 (84,5 Hz), dok neugodni glasovi dosta višu (125,7 Hz). Muški i ženski neugodni glasovi imaju veći SD F_0 od ugodnih. Vrijednosti za frikativni tekst očekivano su nešto više, pa naprimjer najljepši muški glasovi imaju $\bar{x} F_0$ 86,30 Hz, a ženski neugodni 190 Hz.

Nekoliko godina kasnije Varošanec-Škarić (2005: 57–58) ponovno mjeri fundamentalnu frekvenciju hrvatskih govornika, ovaj put u različitim postavljanjima glasa. Na temelju fonacija vokala /a/ mjeri F_0 šest muških glasova urednoga govornog statusa. Utvrđuje da se vrijednosti F_0 na sredini (105,10 Hz) i kraju fonacije (106 Hz) neznatno razlikuju, ali je zato SD F_0 manja u sredini fonacije. U istoj knjizi navodi vrijednosti F_0 za jednog govornika i jednu govornicu u modalnoj, šaptavoj i škripavoj fonaciji vokala /a/. Vrijednosti za modalnu fonaciju muškog govornika nešto su više od ranijih mjerenja (Varošanec-Škarić, 1998) i iznose $\bar{x} F_0 = 102,42$ Hz, $C F_0 = 102,52$ Hz, $SD F_0 = 0,8$ Hz, min. $F_0 = 100$ Hz, maks. $F_0 = 104$ Hz (Varošanec-Škarić, 2005: 124). I za ženu (po profesiji glumica) su vrijednosti dosta više od prethodnih mjerenja, pa je $\bar{x} F_0 = 193,55$ Hz, $C F_0 = 193,61$ Hz, $SD F_0 = 1,35$ Hz, min. $F_0 = 190,14$ Hz i maks. $F_0 = 197,08$ Hz (Varošanec-Škarić, 2005: 132).

Varošanec-Škarić (2010) u sljedećem istraživanju uspoređuje fundamentalnu frekvenciju studenata glume i ostalih studenata. F_0 ponovno mjeri u fonaciji. Vrijednosti za glumce iznose za $\bar{x} F_0$ 116,33 Hz, za SD F_0 0,96 Hz, a min. i maks. F_0

iznose 113,95 Hz, odnosno 118,84 Hz. Za ostale studente vrijednosti su sljedeće: $\bar{x} F_0 = 116,85$ Hz, $SD F_0 = 1,53$ Hz, min. $F_0 = 113,3$ Hz, maks. $F_0 = 122,02$ Hz (Varošanec-Škarić, 2010: 138). Iz navedenog se vidi da su dvije skupine po svemu iste, osim što neglumački glasovi imaju nešto više vrijednosti SD i maksimalne F_0 . Ni kod žena nema statistički značajnih razlika između glumica i neglumica. Za glumice je $\bar{x} F_0 = 207,94$ Hz, a za ostale studentice 210,4 Hz. $SD F_0$ je, kao i kod muškaraca, nešto viša za neglumice (5,31 Hz naspram 2,88 Hz), kao i maksimalna F_0 (218,94 Hz naspram 212,46 Hz), dok im je minimalna F_0 nešto niža nego kod glumica (200,55 Hz naspram 202,21 Hz) (Varošanec-Škarić, 2010: 139).

Kišiček (2012) je analizirala vrijednosti F_0 urbanih govornika hrvatskog. Donosi prosječne vrijednosti najregionalnije procijenjenih i najmanje regionalno procijenjenih muških i ženskih govornika (po 11 za svaku skupinu i spol) u čitanju nefrikativnog teksta.

Posljednje desetljeće Varošanec-Škarić i suradnici (Biočina, Varošanec-Škarić i Bićanić, 2016; Varošanec-Škarić, Biočina i Bićanić, 2016; Varošanec-Škarić, Biočina i Kišiček, 2017) analizirale su mjere F_0 (prosječnu, medijan, min., maks., SD, Alt F_b i F_b) relevantne u forenzičnoj fonetici. Navode prosječne vrijednosti F_0 za spontani govor i čitanje (po oko 2 min) 37 mladih muških govornika starosti od 19 do 28 godina ($C = 22$ god.). Za spontani govor $\bar{x} F_0$ je 111,75 Hz, $C F_0$ iznosi 108,37 Hz, $SD F_0 = 14,61$ Hz, min. $F_0 = 72$ Hz, maks. $F_0 = 198,3$ Hz, Alt $F_b = 97,01$ Hz i $F_b = 90,86$ Hz. Sve vrijednosti osim maks. F_0 više su za čitanje ($\bar{x} F_0 = 117,11$ Hz, $C F_0 = 114,37$ Hz, $SD F_0 = 15,03$ Hz, min. $F_0 = 81,05$ Hz, maks. $F_0 = 179,83$ Hz, Alt $F_b = 99,7$ Hz i $F_b = 95,62$ Hz). Najmanja je razlika između stilova u F_b i Alt F_b , što je u skladu i s rezultatima iz drugih jezika. Prosječna F_0 za čitanje jednaka je prosječnoj F_0 računatoj u fonaciji za studente iz istraživanja Varošanec-Škarić (2010). Osim za mlađe govornike, Varošanec-Škarić, Biočina i Bićanić (2016) izračunali su iste mjere F_0 i za neregionalne govornike srednje dobi u Hrvatskoj (od 31 do 60 god., $C = 45$ god.). Vrijednosti se navode najprije za spontani govor pa za čitanje: $\bar{x} F_0 = 113,35$ Hz i 124,57 Hz, $C F_0 = 110,02$ Hz i 122,62 Hz, $SD F_0 = 17,92$ Hz i 18,79 Hz, Alt $F_b = 93,53$ Hz i 101,31 Hz i $F_b = 87,73$ Hz i 97,69 Hz. Iz rezultata je razvidno da su vrijednosti više za čitački stil nego za spontani govor. Također, hrvatski se govornici znatno manje razlikuju u F_0 u čitanju i u spontanom govoru s obzirom na dob. Statistički se značajno razlikuju samo u $SD F_0$, pri čemu govornici srednje dobi imaju veće vrijednosti $SD F_0$.

Za mjerenja F_0 bračkih govornika (Biočina, 2019) koristio se isti postupak kao u navedenim radovima Varošanec-Škarić i suradnika (Biočina, Varošanec-Škarić i Bićanić, 2016; Varošanec-Škarić, Biočina i Bićanić, 2016; Varošanec-Škarić, Biočina i Kišiček, 2017). Svi govornici snimani su istom opremom, u tihim sobama, a mjere fundamentalne frekvencije računate su iz dvije minute spontanog govora. Rezultati su zanimljivi jer su akustička mjerenja dijalektoloških i mjesnih govora vrlo rijetka u Hrvatskoj, a za neke mjere i nepostojeća. Nadalje, iz prikazanih re-

zultata vidljivo je da je potreban metodološki oprez kod izračuna određenih mjera fundamentalne frekvencije u nestandardnim govorima.

Sve najviše prosječne vrijednosti mjera F_0 izmjerene su u mlađih bračkih govornica, čiji je raspon godina od 18 do 33, a prosječna dob 24,52 godine. U mlađoj dobnoj skupini žena prosječna je F_0 najviša (186,50 Hz), da bi se u srednjoj dobnoj skupini snizila (172,39 Hz), a onda se od 56. godine ponovo povećala (177,82 Hz), ali pritom ne dostiže vrijednosti za mlađe bračke govornice. Navedeno vrijedi za sve računate mjere, osim za SD F_0 , koja je viša u govornica srednje i starije dobi, ali samo neznatno, odnosno približno je jednaka za sve govornice u korpusu (mlađa dob 34,44, srednja 37,47 i starija 38,03). Statistički značajne razlike među dobним skupinama kod govornica nisu pronađene. Kod muškaraca se uočavaju drugačije tendencije pa su najveće prosječne vrijednosti mjera fundamentalne frekvencije u starijoj dobi, zatim mlađoj, a najniže su, isto kao i kod žena, u srednjoj dobnoj skupini. Ponovno je iznimka SD F_0 , čija vrijednost kontinuirano raste s povećanjem dobi. Pritom je pronađena granično značajna interakcija koja pokazuje da prosječna F_0 , medijan F_0 i SD F_0 značajno rastu kod muškaraca s dobi. Prosječna F_0 iznosi 128,18 Hz za govornike starije dobi, dok je za govornike mlađe i srednje dobi približno jednaka te iznosi 112,19 Hz, odnosno 111,15 Hz.

Slično vrijedi i za medijan F_0 , s tim da je u toj vrijednosti razlika između mlađe i srednje dobi nešto veća (2,84 Hz), iako poprilično manja nego između govornika srednje i starije dobi (17,43 Hz) za istu mjeru. Najmanja je razlika za istu mjeru između mlađih i starijih govornika u F_b (0,62 Hz), zatim u Alt F_b (0,98 Hz), a najveća između srednjih i starijih govornika u medijanu F_0 (17,43 Hz) i prosječnoj F_0 (17,03 Hz). Pritom su stariji govornici za sve mjere F_0 imali više prosječne vrijednosti od mlađe i srednje dobi te veće raspršenje rezultata, odnosno više odstupanja od prosjeka. No, raspršenja su rezultata puno manja u muškaraca nego u žena i, suprotno nego kod žena, najniža za Alt F_b , ali i u mlađih govornika (SD 11,57), a najveća za medijan F_0 u starijih govornika (SD 23,01). Nadalje, SD F_0 mijenja se s dobi ($p < 0,001$), pri čemu su naknadne usporedbe pokazale razliku između najmlađih i najstarijih govornika ($p < 0,01$). No, pronađena je samo granično značajna interakcija ($p < 0,05$) koja pokazuje da se kod žena SD F_0 ne mijenja značajno s dobi, dok kod muškaraca ona raste s dobi.

Kako su se mjere F_0 računale po uzoru na istraživanja Varošanec-Škarić i suradnika (Biočina, Varošanec-Škarić i Bićanić, 2016; Varošanec-Škarić, Biočina i Bićanić, 2016; Varošanec-Škarić, Biočina i Kišiček, 2017), Biočina (2019) je statistički usporedila rezultate za regionalne i neregionalne hrvatske govornike. S obzirom na to da postoje samo prosječne vrijednosti mjera fundamentalne frekvencije za veći broj ($N = 37$) muških neregionalnih govornika mlađe i srednje dobi, samo su te dvije skupine bile uspoređene. Pretpostavka je bila da će prosječne vrijednosti fundamentalne frekvencije biti više za dijalektalne govornike. Pretpostavka se statistički potvrdila samo za mjeru SD F_0 ($p < 0,05$), pri čemu su brački govornici

mlađe i srednje dobi imali statistički značajno više vrijednosti $SD F_0$ od neregionalnih govornika iste dobi. Sve ostale mjere F_0 bile su više u neregionalnih govornika, a pritom je jedino F_b bila statistički značajno različita među skupinama ($p < 0,01$), pri čemu su govornici iz prethodnog istraživanja u prosjeku imali značajno više vrijednosti F_b . Činjenica da su dijalektalni govornici imali više prosječne vrijednosti $SD F_0$, a niže bazične vrijednosti upućuju na to da imaju intonacijski razvedeniji govor od neregionalnih govornika.

Zaključno, glavni je cilj navedene akustičke analize bio izmjeriti i izračunati prosječne vrijednosti mjera fundamentalne frekvencije bračkih govornika koje su relevantne u forenzičnoj fonetici. S jedne se strane pokazalo da je F_b uistinu vrlo robusna mjera koja se ne mijenja značajno s dobi, no rezultati pokazuju da se možda mijenja s obzirom na idiom kojim osoba govori. Ta saznanja idu u prilog novijim radovima (Lindh, 2006; 2006a; Arantes i Eriksson, 2014; da Silva, da Costa, Miranda i Del Galdo, 2016; Arantes, Eriksson i Gutzeit, 2017) koji pozivaju na češće korištenje te mjere F_0 , posebice kad se računa iz medijana. S druge strane, minimalna i maksimalna F_0 pokazale su se nepouzdanima u automatskim mjerenjima fundamentalne frekvencije u povezanome spontanom govoru, posebice kod dijalektalnih govornika. Naposljetku, rezultati su pokazali da je kod muškaraca značajniji utjecaj dobi na F_0 nego kod žena.

4.4. Mjere perturbacije tona i amplitude fundamentalne frekvencije

Osim u analizi govora s ciljevima sociofonetskih i/ili sociolingvističkih opisa govorno-jezičnih varijacija među govornicima, analiza fundamentalne frekvencije učestalo se koristi i pri određivanju patoloških (atipičnih) promjena u glasu. Pri analizi atipičnih glasova te u usporedbi tipičnih i atipičnih glasova koriste se mjere perturbacije tona i intenziteta fundamentalne frekvencije (*jitter* i *shimmer*) na govoru snimljenom u studijskim uvjetima, s obzirom na to da su te mjere nepouz dane u audiomaterijalu koji je snimljen u nestudijskim uvjetima (npr. u klinikama, prostorijama u kojima je prisutna reverberacija ili pak drugi uobičajeni zvukovi / buka kojih često nismo niti svjesni, npr. zvukovi ventilacije, rada računala, žamora ljudi itd.).

Iako su mjere *jitter* i *shimmer* zajedno s omjerom harmoničkog i šumnog dijela spektra jedne od najčešće korištenih mjera u istraživanjima (a)tipičnih glasova, prije svega u kliničkom radu, dosadašnja su istraživanja pokazala (Heman-Ackah i sur., 2003; Murton, Hillman i Mehta, 2020; Bašić i Stevanović, 2024) da su spomenute mjere lošije u odjeljivanju zdravih i patoloških glasova (tipičnih i atipičnih glasova) te da su primjenjive na glasovima s blagim do umjerenim stupnjem disfonije. Kod teških oblika disfonije uglavnom nisu primjenjive jer se, za razliku od primjerice kepstralnoga vokalnog vrhunca (engl. CPP za *Cepstral Peak Prominence*), oslanjaju isključivo na kretanja fundamentalne frekvencije koja u tim oblicima patologije glasa izostaje.