

Svetlana Čičević  
Univerzitet u Beogradu  
Saobraćajni fakultet  
Laboratorija za saobraćajnu psihologiju i ergonomiju

UDK 159.9:32  
159.923:32

Оригинални научни рад  
Примљен: 19. 05. 2011.

Milkica Nešić  
Univerzitet u Nišu  
Medicinski fakultet  
Institut za Fiziologiju

## ZNAČAJ KONTURE FUNDAMENTALNE FREKVENCIJE GLASA U PROCENI PSIHOFIZIOLOŠKOG STANJA GOVORNIKA<sup>1</sup>

### Apstrakt

Fundamentalna frekvencija glasa ima veoma značajnu ulogu u prenošenju prozodijalnih, kao i para- i ne-lingvističkih informacija, i kako su brojna istraživanja pokazala, predstavlja valjan indikator fizičkog i emocionalnog stanja govornika. U radu je prikazana pojednostavljena kontura fundamentalne frekvencije (F0 kontura) glasa kontrolora letenja kao parametar stresa indukovano radnim opterećenjem tokom regularnog rada. Za akustičku analizu izabrana je višesložna test-reč tako da su rezultati interpretirani posebno za F0 konture dva segmenta reči (nukleusa slogova). Rezultati su pokazali da tokom trajanja rada dolazi do porasta vrednosti fundamentalne frekvencije govora, kao i realizovanih kontura. Očigledno da su segmenti reči osetljivi na stres koji nastaje usled različitog trajanja radnih sesija. Značajne promene se javljaju kako na nivou cele reči, tako i u okviru njenih segmenata, što se može koristiti u dijagnostičke svrhe, odnosno, nameće se zaključak da F0 možemo ekstrahovati iz početnog kao i iz finalnog segmenta akustičke, tj. artikulacione celine.

*Кljučне речи:* Kontura fundamentalne frekvencije (F0 kontura) glasa, psihofiziološko stanje, kontrolor letenja, radno opterećenje, segment reči

### Uvod

Proces produkcije govora može se opisati kao mentalni i fizički proces koji se realizuje kroz sledeće korake: formiranje ideje, odabir odgovarajućih lingvističkih jedinica iz memorije, generisanje niza artikulacionih pokreta, aktivacija motornih programa, transmisija neuromuskularnih komandi mišićima respiratornog i sistema fonacije, pokreti odgovarajućih artikulacionih, upotreba proprioceptivnih povratnih informacija i širenje akustičke energije (kroz usta i nozdrve).

Opadanje mišićne tenzije ili sniženje telesne temperature koji predstavljaju fiziološke promene uslovljene umorom i radnim opterećenjem mogu indirektno uticati na karakteristike glasa, imajući u vidu različite etape procesa produkcije govora:

<sup>1</sup> Rad je finansiran sredstvima Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije u okviru rada na projektima 179002d, 36006 i 36022.

kognitivno planiranje govora, respiraciju, fonaciju, artikulaciju/rezonanciju, kao i radijaciju (Krajewski and Kröger, 2007). Akustička analiza se uglavnom zasniva na istraživanjima prepoznavanja emocija iz zvučnog signala i postupcima izračunavanja različitih parametara govora (Batliner i sar., 2006). Integracija specifičnih motornih obrazaca produkcije zvuka iz regiona srednjeg mozga i neurona sive mase mozga može objasniti dobro poznatu vezu između emocionalne i vokalne kontrole. Laringealni i respiratorni mišići operišu prema određenim obrascima da bi se proizveo zvuk određene frekvencije, intenziteta i vremenske organizacije, zavisno od namere i stanja (raspoloženja) govornika. Akustičke karakteristike mogu se podeliti na auditivno-perceptivne koncepte u prozodiji (fundamentalna frekvencija, intenzitet, ritam, pauze i brzina govora), artikulacione (nerazgovetan govor, izostavljanje ili redukcija vokala) i kvalitet glasa (zadihan, šapat, napet, hrapav).

Sistem kontrole letenja (ATC). Profesija kontrolora letenja zahteva visok nivo performansi i stepena budnosti i smatra se veoma stresnom zbog ogromne odgovornosti za život velikog broja ljudi. Kako karakteristike ljudskog faktora variraju tokom vremena zavisno od zdravstvenog stanja i spoljašnjih uticaja, u ATC sistemu dobre performanse se mogu definisati kao odsustvo nebezbednih akcija operatora. Zato da bi se bezbednost čitavog ATC sistema održavala optimalnom, nivoi stresa i radnog opterećenja (RO) kojima je operator izložen moraju biti umereni. Povećanju bezbednosti sistema pomoglo bi postojanje alata za objektivnu procenu stresa operatora pri različitim nivoima radnog opterećenja, u realnom vremenu.

RO se može smatrati spoljašnjim stimulusom koji prouzrokuje fiziološke reakcije na stres ljudskog organizma. Stres modifikuje nivo specifičnih hormona, što dovodi do promena ritma srčanog rada i disanja, krvnog pritiska kao i transpiracije. Otuda merenje ovih primarnih ili sekundarnih reakcija na stres daje objektivne informacije kako određena individua doživljava dato radno opterećenje (Hagmueller i sar., 2006; Ruiz i sar., 1990).

Za ovu svrhu nisu dovoljna laboratorijska istraživanja van radnog konteksta. Ljudski govor nam može pružiti informacije o većini sekundarnih reakcija na stres bez direktnog fizičkog kontakta sa ispitanikom. Kako stres, tako i govor predstavlja veoma kompleksan proces, različitog porekla, i u slučaju stresa, različitih efekata, od kojih se mnogi od njih manifestuju u govornom signalu. Mnogi faktori, kao što su pol, uzrast, okruženje, utiču na produkciju govora, tako da se svaki pojedinačni izgovor razlikuje od sledećeg, čak i kada istu frazu izgovara ista osoba. S druge strane, stres je stanje koje može biti uzrokovano brojnim razlozima, uključujući radno opterećenje, emocije ili sredinske uticaje. Brojne studije razmatrale su efekte emocionalnog stanja govornika na karakteristike govornog signala. Stoga je prilično teško razdvojiti istraživanja stresa i emocija (Cowie i Cornelius, 2003). Nalazi nekih istraživanja prepoznavanja emocija mogu se direktno primeniti i na prepoznavanje stresa (Alter i sar., 2003; Huber i sar., 2000). F0 je parametar najčešće korišćen za analizu i klasifikaciju govora u stresnim stanjima (Hansen, 1996; Zhou i sar., 2001).

Govor predstavlja značajan modalitet komunikacije među ljudima kao i u sistemu čovek–mašina. Star je između 200 hiljada i 2 miliona godina i nezamenljivo je sredstvo za razmenu ideja, zapažanja i osećanja. Služi za prenos afektivnih informacija putem eksplicitnih (lingvističkih), kao i implicitnih (paralingvističkih) poruka koje reflektuju način na koji su reči izgovorene. Ako razmatramo samo verbalni (lingvistički) aspekt poruke, ne obraćajući pažnju na način kako je izgovorena

(paralingvistička poruka), može se dogoditi da propustimo neke relevantne informacije ili da čak pogrešno razumemo poruku ukoliko ne obratimo pažnju na neverbalni aspekt govora. Istraživanja iz oblasti psihologije i psiholingvistike o paralingvističkim karakteristikama govora dala su obilje rezultata o akustičkim i prozodijskim karakteristikama koje mogu biti upotrebljene za kodiranje afektivnih stanja govornika. Sveobuhvatan pregled prethodnih istraživanja u ovoj oblasti može se naći u radu (Juslin i Scherer, 2005). Parametri govora koji se mogu smatrati pouzdanim indikatorima bazičnih emocija su kontinualne akustičke mere, naročito one koje se odnose na F0 (raspon, srednje vrednosti, medijane, i varijabilnost), intenzitet i trajanje kao tri osnovna domena.

Intonacija. Ljudska bića izražavaju emocije na mnogo različitih načina, između ostalog, putem facijalne ekspresije, kao i modulacijom intonacije glasa (Banse i Scherer, 1996). Tipična akustička karakteristika kojom je zasićen emocionalni govor podrazumeva nivo, raspon i oblik F0 ili intonacione konture. Potrebno je praviti razliku između intonacione konture na nivou fraze (koja obično pokazuje deklinacije – odstupanja u odnosu na baznu i vršnu liniju F0 minimuma i maksimuma, respektivno), i onu na nivou sloga (koje su se pokazale veoma bitnim u istraživanjima emocionalnog govora). Iako postoji neslaganje među raznim autorima u pogledu terminologije, varijacije oblika F0 konture se obično odnose na obrasce rasta i opadanja u odnosu na slogove (Dilley i Brown, 2007; Mary i Yegnanarayana, 2008). Poznato je da je kriva fundamentalne frekvencije nekog izgovora glavna akustička manifestacija suprasegmentnih struktura kao što su naglasak, akcent (visina) i intonacija. Vokali i konsonanti nemaju potpuno invarijantnu spektrografsku reprezentaciju, tako da, površina F0 konture ne nalikuje uvek suprasegmentnim strukturama koje joj leže u osnovi, jer se mnoge varijacije dešavaju tokom njihovog ispoljavanja. Zbog toga je često teško razumeti modele F0 na osnovu direktnih opservacija. Na primer, opaženo je da postoji tendencija postupnog opadanja F0 tokom artikulacije. Ova pojava, poznata kao deklinacija, javlja se u mnogim jezicima. Posle mnogih dekada istraživanja ostalo je nerazrešeno da li je deklinacija funkcionalno različit obrazac intonacije ili nusprodukt produkcije izgovora. To je verovatno zbog toga što se većina istraživanja ovog fenomena zasniva na opservaciji globalne F0 konture, bez adekvatne analize lokalnih prozodijskih struktura. Za intonaciju je često teško proceniti i specifikovati lokalne komponente koje leže u osnovi konture. Pikovi F0 fonološki su povezani sa leksički naglašenim slogovima. Kontura F0 nekog izgovora može se smatrati kao niz lokalnih pokreta koji sadrže pikove F0 koji se pojavljuju simultano sa leksički naglašenim slogovima. U deklarativnim rečenicama pikovi F0 su, u više od 70% slučajeva, povezani sa slogom koji sledi onaj koji je nosilac leksičkog akcenta u fonološkoj reprezentaciji. Može se smatrati da je automatsko snižavanje F0 tokom izgovora univerzalni fonetski efekat (koji čak nije specifičan samo za ljudsku vrstu).

Potrebna nam je kvantitativni model koji dozvoljava da zaključujemo o mehanizmima, procesima i informacijama koje su uključene u generisanje F0 konture. Efekti inicijalnih konsonanata na F0 sloga dobro su ispitani, pa se za nazale zna da ispoljavaju najmanje ometajući učinak (dovode do najmanje poremećaja konture) na kontinuitet F0 konture. Potvrđeno je da kada je inicijalni konsonant sloga bezvučan (i to ploziv, na primer „t“, pre nego nazal) dolazi do porasta rane porcije F0 konture u slogu. Veći je uticaj prenosa sa prethodnog tona, nego anticipatorni uticaj sa tona

koji sledi. Kontura F0 u početnom delu svakog sloga je izgleda veoma tranzicionalna, njena početna vrednost veoma varira. Finalni regioni F0 konture sloga (više od ostalih) najmanje variraju pod uticajem efekta prenosa tona. Poznato je da deklarativne rečenice prouzrokuju najveću deklinaciju F0.

Tranzicija F0 takođe se javlja kad god postoji razlika u F0 između dva susedna sloga, bez obzira na to da li dva sloga nose isti ton. Jedna od univerzalija vezanih za intonaciju jeste postojanje početnog uzbuđenja koja ustvari predstavlja tranziciju između vrednosti F0 na početku izgovora i prvog F0 maksimuma, što ne čini funkcionalni porast. Pri sirovom praćenju F0 primećuju se oštri pikovi oko dodirnih tačaka nazala i vokala. Kada je leksički akcent sloga najvažniji determinišući faktor lokalne F0 konture sloga, fokus menja globalni oblik krive F0, što utiče na visinu, pa čak i na oblik lokalnih kontura. Varijacije u melodiji govora obično nemaju normalnu raspodelu. Često se pojavljuju dva i više maksimuma. Kod jedne individue kontura je vrlo stabilna, i ukoliko je stanje individue nepromenjeno ona čini pravu liniju u toku vremena. Kada je subjekt ekscitiran prosečni nivo F0 raste, a melodija je proširena.

Uticaj stresa se ispoljava najviše u stadijumima planiranja izgovora, generisanja motornih komandi i produkciji govornog zvuka. Na osnovu ovih promena moguće je predviđanje i rano upozoravanje govornika – operatora da može nastupiti kritično opadanje performansi što ima ogromnu ulogu u prevenciji nezgoda čime bi se mogli sprečiti ogromni humani i finansijski troškovi. Zato je opravdano veliko ulaganje napora u merenje stresa, umora i radnog opterećenja u realnim radnim situacijama. Verovatno najpreciznije procene nivoa stresa kome je pojedinac izložen dobijaju se merenjem fizioloških parametara. Ovakva merenja podrazumevaju, na primer, analizu krvi ili postavljanje elektroda (npr. u mozgu). Većina ovakvih merenja su invazivna i vezana za medicinska ispitivanja.

U okviru kategorije neinvazivnih merenja, mogu se razlikovati mere koje se dobijaju fizičkim kontaktom, kao što je postavljanje senzora za registrovanje srčanog rada ili elektroda radi dobijanja elektroencefalograma, dok su nekontaktne metode one koje ne zahtevaju fizički kontakt ispitanika i merne opreme. Svakako da su ova merenja poželjna za analizu stresa u realnim situacijama, pošto neće dovesti do pogoršanja radnih sposobnosti subjekata, ili izazvati stres usled primene. U okviru kategorije nekontaktnih merenja možemo definisati dve podgrupe i razlikovati one koje deluju ometajuće, koje interferiraju sa privatnošću subjekta ili sposobnostima operatora da bezbedno obavlja svoj posao, i onih koje nisu ometajuće, kakva je na primer, analiza akustičke strukture govornog signala, naročito u realnim radnim situacijama kada osoba upotrebljava vokalnu komunikaciju u okviru izvođenja svojih radnih zadataka, ili koristi, na primer, mikrofon prilikom rada.

Nema tako mnogo empirijskih istraživanja o uticaju umora, odnosno radnog opterećenja, na akustičke karakteristike govora operatora. Prethodni radovi fokusirali su se obično na pojedinačne karakteristike (Whitmore i Fisher, 1996) ili manji broj njih koje su se odnosile na perceptivne akustičke odlike (npr. F0, intenzitet, tempo govora) i koji su kao govorni materijal koristili uglavnom liste besmislenih slogova (Vollrath, 1994). Ovakva bazična istraživanja nisu uspela da identifikuju optimalni skup vokalnih pokazatelja koji bi mogli razlikovati različite nivoe psihofizioloških stanja budnosti (aktivacije).

Prilikom ekstrakcije karakteristika potrebno je odlučiti se koje ćemo osnovne jedinice odabrati za analizu, spektralne ili orijentisane na prozodiju. Osnovni lingvi-

stički, odnosno distinktivni element jezika je fonem. Istovremeno, on ne predstavlja osnovnu jedinicu percepcije, pošto se mnoge značajne odlike glasova, kao što su jačina, visina ili naglasak, ne mogu izraziti samo na osnovu fonema. Pod perceptivnom jedinicom podrazumeva se minimalni segment govornog (akustičkog) signala koji se prepoznaje kao minimalna lingvistička informacija. Kao kandidati za perceptivne jedinice pojavljuju se fonemi, slogovi, reči i fraze. Na osnovu brojnih istraživanja zaključeno je da su osnovne perceptivne jedinice vokali i slogovi tipa konsonant-vokal (CV) i VC. Najveći deo govorne informacije se sadrži u segmentima govornog signala koji nose inherentne informacije o fonemima. Dodatne informacije nose tzv. prozodijske (suprasegmentne) karakteristike koje se odnose na ritam, akcenat i intonaciju govora. Dokazi iz fizioloških istraživanja pokazuju da slogovi predstavljaju osnovne obrasce organizacije artikulacije, odnosno, produkcije, percepcije i sinteze govora.

Neki autori akcente opisuju kao komponente intonacionih kontura, bez objašnjavanja njihove osnove ostavljajući je po strani kao posebna fonološka svojstva (Lieberman, 1995; Pierrehumbert, 1980). Liebermanov model postulira da se lokalna akustička svojstva pojedinačnih slogova mogu interpretirati kao deo globalne metričke strukture izgovora, a ne kao lokalne odlike, te da istaknuta pozicija sloga u okviru izgovora nije određena lokalno. Ladd-ov model takođe ukazuje da akcenat i pikovi F0 konture ne odražavaju isti fenomen (Ladd i sar., 1985; Ladd, 1996). Iako promene F0 ukazuju na pozicije akcenata, oblik F0 konture ih ne odslikava u odnosu jedan prema jedan.

Potrebno je pažljivo definisati odnos između stresa i govora, prvenstveno da bi se napravila razlika u odnosu na pojam stresa u smislu akcenta (naglašenog sloga) kako se on upotrebljava u lingvistici. Zato se često upotrebljava termin 'govor pod uticajem stresa', koji je manje dvosmislen. On označava da se govornik nalazi pod uticajem neke vrste pritiska, što rezultira poremećajima u procesu produkcije govora i time akustičkog signala. Ovakva definicija implicira, da postoji stanje kada nema stresa, odnosno kada pritisak nije prisutan, iako je veoma teško da postoje okolnosti kada je stres potpuno odsutan. Zbog toga, iz praktičnih razloga, stanje bez stresa se definiše kao stanje kada se registruju referentni uzorci govora. U kontekstu stresa uzrokovanog radnim opterećenjem u sistemu kontrole letenja, definicija će biti nekoliko drugačija. Neutralna situacija ovde označava radne uslove u kojima se ostvaruju optimalne performanse, odnosno, radno opterećenje pri kome je moguće održati optimalne radne performanse, pozitivno okruženje kada nema negativnih uticaja na zdravlje i emocije.

Varijacije vrednosti F0 i intonacione konture su za razliku od spektralnih karakteristika govornog signala mnogo više pod uticajem individualnih razlika. Kako je u sistemu kontrole letenja od krucijalne važnosti optimalan nivo performansi svakog pojedinog operatora, potreban nam je alat putem koga bismo mogli veoma brzo i precizno ustanoviti trenutni psihofiziološki status kontrolora, tj., pojavu latentnog opadanja performansi koje prethode njihovom slomu, ukoliko opterećenje predugo traje. Osnovni cilj preduzetog istraživanja je identifikovanje uticaja stresa uzrokovanog radnim opterećenjem na oblik F0 konture kontrolora leta, kao i razmatranje mogućnosti upotrebe ovog parametra za dijagnostičke, odnosno preventivne svrhe.

## Materijal i metode

### *Subjekti*

Uzorak u ovom istraživanju činili su oblasni kontrolori letenja – radaristi. Svi ispitanici bili su muškog pola, uzrasta od 24–57 godina.

### *Metod rada*

Govorni materijal je registrovan kod radarista u odmornom stanju, i nakon rada različitog trajanja (dva radna ciklusa u trajanju od 1 ili 2 časa). Kao uzorak govornog materijala korišćena je test reč „Kalotina“. Ona je u akustičkom smislu pogodna za analizu zahvaljujući svom inicijalnom glasu, kao i postojanju pauze, koja ustvari, predstavlja period okluzije foneme „T“ čineći na taj način granicu između dve akustičke celine, odnosno, segmenta.

Govorni signal je direktno uveden pomoću mikrofona (rastojanje između usana govornika i mikrofona iznosilo je oko 30 cm u svim registovanjima), i sniman direktno na hard disk prenosivog PC računara da ne bi bio nepotrebno deformisan snimanjem na druge medije. Korišćena je frekvencija uzorkovanja od 22 kHz. Svi odmerci su bili 16-bitni. Sprovedena je akustička analiza koja je podrazumevala ekstrahovanje F0 na nivou cele reči, i posebno za oba njena segmenta. Upotrebljen je program posebno sastavljen za ove svrhe (Čičević i sar., 2009; Čičević i sar., 2009a). Visina F0 prvenstveno zavisi od veličine, odnosno dužine i mase glasnih žica. Raspon vrednosti, s druge strane, predstavlja različite metode produkcije i sigurno pretpostavlja emocionalne ili razlike u stilu realizacije artikulacije. Zbog razlika u trajanju izgovora različitih subjekata, i u raznim situacijama, uziman je različit broj uzoraka i izračunavana prosečna vrednost fundamentalne frekvencije za ceo izgovor, kao i posebno za svaki od segmenata. Na osnovu tih vrednosti je zatim izvedena pojednostavljena kontura fundamentalne frekvencije glasa koju čine tri tačke: inicijalna, maksimalna (ukoliko postoji), i finalna.

## Rezultati

Izgled konture F0 glasa kontrolora biće interpretiran, ne sa stanovišta prirode akcenatskog sistema srpskog jezika, odnosno efekata prenosa akcenata sa jednog na susedni slog, već s obzirom na osobenosti realizacije radnog procesa kontrolora leta, odnosno trajanje rada.

Prosečne vrednosti F0 daju meru kojom visinom je generalno svaki pojedinac realizovao izgovor date reči. Pošto se ona kontinualno menja, kada se predstavi u odnosu na vreme, dobija se intonaciona kontura u govoru. U kreiranju izgleda konture korišćene su srednje vrednosti realizovanih vrednosti F0 za svaku od grupa kontrolora s obzirom na trajanje rada. Ovde su prikazane pojednostavljene konture osnovne frekvencije glasa koje su određene sa tri tačke – početna vrednost, maksimalna vrednost (ako postoji) i krajnja vrednost (za dato slogovno jezgro). Posebno su razdvojene dve akustičke celine, ovde aproksimativno označene kao slogovna jezgra.

Rezultati pokazuju da prvi segment test reči pokazuje mnogo veće varijacije vrednosti fundamentalne frekvencije (Tabela 1) u poređenju sa drugim (koji pokazuje veliku sličnost među grupama) (Tabela 2). Dakle, u frekvencijskom domenu,

inicijalni segment reči odgovoran je za promene, odnosno osetljiv je na trajanje rada, ili pak uticaj stresa, odnosno, drugih negativnih faktora tokom rada.

Ono što je još značajnije je činjenica da promene fundamentalne frekvencije glasa pri artikulaciji kako reči kao celine, tako i njenog prvog segmenta, nastaju nakon rada najdužeg trajanja, tj. drugog radnog ciklusa. Drugim rečima, F0 je osetljiva na radni ciklus, što podrazumeva duži, a ne kratkotrajni rad. Takođe, na osnovu promena vrednosti F0 prvog segmenta reči može se razlikovati izgovor odmornih i kontrolora koji su duže radili. Značajan porast vrednosti F0 nakon rada najdužeg trajanja svedoči o uticaju emocionalne ekscitacije koja može biti posledica stresa, ili produženog vokalnog napora, što je prirodno s obzirom na prirodu posla radarista, koji zahteva neprekidnu komunikaciju pilota i kontrolora, što znači konstantnu upotrebu i zamaranje vokalnog aparata.

F0 drugog segmenta reči „Kalotina“ je u svim situacijama i svim grupama viša nego u prvom segmentu (Tabela 2).

Tabela 1. Varijacije vrednosti F0 prvog segmenta test reči kao funkcija radnog opterećenja kontrolora.

F0	Odmorni	Ic 1h	Ic 2h	Iic 1h	Iic 2h
Pros.	92.04	95.46	94.33	107.82	110.26
SD	17.02	14.35	15.09	20.38	14.60
Min	65.62	65.50	75.58	87.83	87.30
Max	121.65	118.20	120.47	139.06	122.53
Raspon	56.04	52.70	44.89	55.23	35.23

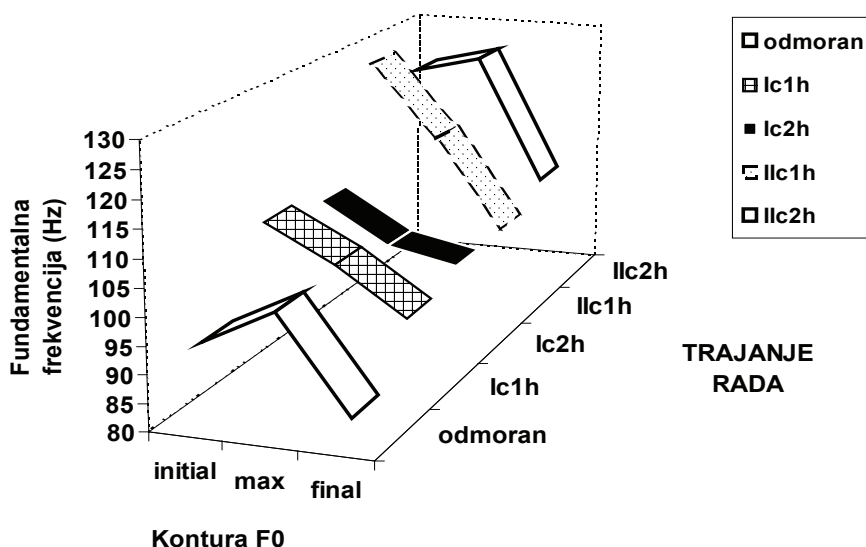
Tabela 2. Varijacije vrednosti F0 drugog segmenta test reči kao funkcija radnog opterećenja kontrolora.

F0	Odmorni	Ic 1h	Ic 2h	Iic 1h	Iic 2h
Pros.	105.05	104.54	101.67	116.02	120.75
SD	23.99	23.49	18.57	26.38	25.81
Min	71.00	67.56	81.76	83.81	87.30
Max	148.14	136.10	139.78	153.80	155.17
Raspon	77.14	68.54	58.01	69.99	67.87

Postoji osnovni trend promena vrednosti F0 tokom radnog perioda, koji je isti za izgovor oba segmenta reči. Na samom početku rada dolazi do blagog porasta vrednosti F0, koja u drugom satu rada opada, i tada ima najnižu vrednost u odnosu na ostale grupe (odnosno radne situacije). Zatim sledi porast vrednosti F0 do kraja radnog perioda, kada F0 dostiže najviše vrednosti. Drugim rečima, najniže vrednosti F0 beleže se posle završetka rada u prvom radnom ciklusu, a najviše nakon završetka drugog radnog ciklusa, znači na kraju rada. Promene vrednosti F0 prevashodno zavise od radnog ciklusa, koji govori o kumuliranju radnog opterećenja.

Kvalitativnom analizom podataka dolazi se do brojnih zaključaka. Najpre, F0 konture oba segmenta reči „Kalotina“ kontrolora koji su najduže radili, pokazuju najviše vrednosti. Konture F0 drugog segmenta su u svim slučajevima više nego konture prvog segmenta. Sve konture drugog segmenta imaju izražene maksimalne vrednosti koje se jasno izdvajaju u odnosu na početnu i krajnju vrednost izgovora, dakle, njihov izgled je veoma sličan, jedino se razlikuju po visini postignutih vred-

nosti. U izgovoru prvog segmenta reči, kontura F0 odmornih kontrolora ima najniže vrednosti, što kod drugog segmenta nije slučaj. Kontura F0 prvog segmenta odmornih kontrolora po izgledu podseća na konturu drugog segmenta – ima jasno izražen maksimum i opada na kraju izgovora (krajnja vrednost je niža od početne). Konture F0 prvog segmenta kontrolora koji su radili 1h (bilo u prvom ili u drugom radnom ciklusu) slične su po izgledu, nimalo ne liče na ostale, imaju opadajući trend, ne postoji izražena maksimalna vrednost u sredini izgovora, jedino što je u drugom radnom ciklusu, višeg nivoa (u sve tri merne tačke). Kontura F0 izgovora kontrolora koji su radili dva časa u prvom radnom ciklusu, potpuno je obrnuta u odnosu na ostale, inače, ovaj vremenski period od dva sata rada u prvom radnom ciklusu predstavlja neku vrstu prekretnice kada dolazi do poremećaja, odnosno do nestabilnosti mnogih drugih posmatranih parametara, kako govornih, tako i onih koji nisu vezani za govornu funkciju. Na kraju celokupnog radnog perioda, posle rada najdužeg trajanja, kontura F0 prvog segmenta po izgledu podseća na konturu odmornih (ima izražen maksimum), samo što se realizuje na mnogo višem nivou (Slika 1).



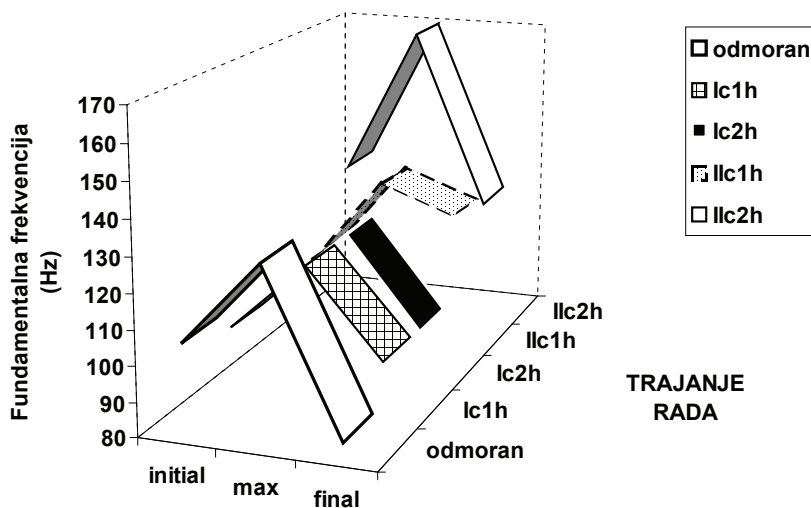
Slika 1. F0 kontura prvog segmenta test reči kao funkcija radnog opterećenja.

Sve konture F0 drugog segmenta po izgledu su slične, osim što se razlikuju po visini. Jedina razlika se javlja u izgledu konture nakon jednog sata rada u drugom radnom ciklusu (Slika 2). Najviše vrednosti F0 realizovane su u konturi na kraju radnog vremena.

Značajan je podatak da su konture F0 kontrolora koji su radili u prvom radnom ciklusu (bilo da je neprekidan rad trajao jedan ili dva časa) gotovo identične i niže po nivou u odnosu na konturu odmornih (jedino je završetak artikulacije kod odmornih na nižem nivou). Najveći pad vrednosti na kraju artikulacije javlja se kod odmornih ispitanika, kod svih ostalih grupa postoji pad, ali ne tako izrazit. Jedina koja se razlikuje u tom pogledu je kontura kontrolora koji su radili jedan čas u drugom radnom ciklusu. Njena početna i srednja (maksimalna) vrednost su iste kao u konturi odmornih.



nih kontrolora, ali ne postoji izraziti pad na kraju artikulacije, već finalna vrednost ostaje na relativno visokom nivou.



**Kontura F0**

Slika 2. F0 kontura drugog segmenta test reči kao funkcija radnog opterećenja.

Sumirajući iznete činjenice, mogu se izvesti zaključci da je kontura F0 drugog segmenta uvek viša nego kontura prvog; kontura F0 prvog segmenta pokazuje veće varijacije (uzastopnih) vrednosti nego kontura drugog; kao i da su promene u konturi F0 drugog segmenta povezane sa radnim ciklusom, dakle, sa radom dužeg trajanja, dok su varijacije vrednosti konture F0 prvog segmenta „osetljive“ na broj sati provedenih na radu (jednokratni rad kraćeg trajanja).

## Diskusija

Reč se izgovara obično u jednom izdisaju. Primarne artikulacione aktivnosti u toku tog ciklusa vezane su za glotalne i subglotalne strukture i direktno zavise od lingvističkog sadržaja. Srednja vrednost subglotalnog pritiska je približno konstantna za vreme ekspirijuma, sa naglim usponom na početku reči i blažim padom pri kraju, kada se priprema sledeća ekspiracija. S druge strane, zategnutost glasnica, koja određuje veličinu fundamentalne frekvencije naglo raste na početku artikulacije, i sa isticanjem ekspirijuma blago pada. U zavisnosti od sintaksičke i semantičke strukture, obe veličine, i subglotalni pritisak i zategnutost glasnica (laringealnih mišića), se modulišu na različite načine. Ukoliko iz bilo kog razloga zategnutost laringealnih mišića ili subglotalni pritisak porastu, akustički korelati ovog uvećanja su: uvećanje fundamnetalne frekvencije, veći intenzitet izgovora i njegovo produženo trajanje.

Međutim, nepotpuno zatvaranje glasnih žica usled patoloških faktora dovodi do redukovanja mehanizma za produkciju govora. Kao posledica smanjenja glotalnog pritiska za fonaciju je potreban veći volumen vazduha u poređenju sa normal-

nom situacijom. Vibracije glasnih žica prouzrokuju samo blage fluktuacije vazdušne struje što dovodi do ogromne redukcije viših harmonika periodičnog dela signala. Dodatno, velika zapremina vazduha koja prolazi kroz glotis uzrokuje turbulencije, odnosno šum, koji deluje kao drugi izvor ekscitacije vokalnog trakta. U uslovima nedostatka vremena (skraćanja, kao što je to slučaj pri artikulaciji drugog segmenta test reči radarista) dolazi do manjih varijacija u konturi F<sub>0</sub>, pošto se neke od njih brišu, pa dolazi do pomeranja od semantički značajnih na neznačajne konfiguracije. Ubrzanje tempa dovodi do osiromašnja akustičko-fonetske strukture govora. Vizuelnom inspekcijom kontura F<sub>0</sub> naših ispitanika ustanovljava se prisustvo platoa u velikom stepenu, što svedoči o uključivanju mehanizma očuvanja energetskeg balansa. Ovaj mehanizam funkcioniše na dva nivoa. Jedan se odnosi na očuvanje konstantnosti trajanja, energije i visine sloga kao osnovne jedinice artikulacije, drugi se odnosi na konzervaciju energetskeg resursa čoveka operatora koji su iscrpljeni usled delovanja radnog opterećenja, odnosno, produženog rada. Otuda, između ostalog, mnogo manje varijacije u konturi F<sub>0</sub> drugog sloga reči „Kalotina“.

### Zaključak

Sumirajući iznete činjenice, mogu se izvesti sledeći opšti zaključci:

- Produženi rad karakteriše se porastom vrednosti F<sub>0</sub>, kao i same konture.
- Konture F<sub>0</sub> prvog i drugog segmenta se znatno razlikuju.
- Kontura F<sub>0</sub> drugog segmenta je uvek viša nego kontura prvog.
- Kontura F<sub>0</sub> prvog segmenta pokazuje veće varijacije (uzastopnih) vrednosti nego kontura drugog.
- Promene u konturi F<sub>0</sub> drugog segmenta povezane su sa radnim ciklusom, dakle, sa radom dužeg trajanja, dok su varijacije vrednosti konture F<sub>0</sub> prvog segmenta “osetljive” na broj sati provedenih na radu (jednokratni rad kraćeg trajanja).

Generalno, značajne promene kontura F<sub>0</sub> oba segmenta test-reči nastaju kao posledica rada na sektoru. Očigledno da su segmenti reči osetljivi na stres koji nastaje usled različitog trajanja radnih sesija, što može biti upotrebljeno u dijagnostičke svrhe, odnosno, nameće se zaključak da F<sub>0</sub> možemo ekstrahovati iz početnog kao i iz finalnog segmenta akustičke, tj. artikulacione celine. Što je još značajnije, F<sub>0</sub> kontura omogućuje brzo, vizuelno i efikasno procenjivanje stanja operatora u realnom vremenu.

### Literatura

1. Alter, K., Rank, E., Kotz, S. A. (2003). Toepel U, Besson M, Schirmer A, Friederici AD: Affective encoding in the speech signal and in event-related brain potentials. *Speech Communication*, 40, 61–70.
2. Banse, R., Scherer, K. R. (1996). Acoustic profiles in vocal emotion expression. *Journal of Personality and Social Psychology*, 70, 614–636.
3. Batliner, A., Steidl, S., Schuller, B., Seppi, D., Laskowski, K., Vogt, T., Devillers, L., Vidrascu, L., Amir, N., Kessous, L., Aharonson, V. (2006). Combining efforts for improving automatic classification of emotional user states. in: T. Erjavec, and J. Z. Gros (eds.) : *Language Technologies*, IS-LTC 2006, Ljubljana, Slovenia: Informacijska Družba, pp. 240–245.

4. Cowie, R., Cornelius, R. R. (2003). Describing the emotional states that are expressed in speech. *Speech Communication*, 40, 5–32.
5. Čičević, S., Nešić, M., Vučković, V. (2009). Application of digital signal processing in biological sciences. *Archives of Biological Science*, 61 (4): 9P–11P.
6. Čičević, S., Nešić, M., Vučković, V. (2009a). Software application for operators' workload estimation. SYM-OP-IS, *XXXVI Simpozijum o operacionim istraživanjima*. Matematički institut SANU – Beograd. 381–384.
7. Dilley, L. C., Brown, M. (2007). Changes in pitch range under different or variation in f0 contour shape. *Journal of Phonetics*, 35, 523–551.
8. Hagmueller, M., Rank, E., Kubin, G. (2006). Evaluation of the human voice for indications of workload induced stress in the aviation environment. EUROCONTROL Experimental Centre, INO-1 AC STSS Project.
9. Hansen, J. H. L. (1996). Analysis and compensation of speech under stress and noise for environmental robustness in speech recognition. *Speech Communication*, 20, 151–173.
10. Huber, R., Batliner, A., Buckow, J., Noth, E., Warnke, V., Niemann, H. (2000). Recognition of emotion in a realistic dialogue scenario. In Proceedings of the International Conference on Spoken Language Processing, Beijing, China, pp. 665–668.
11. Juslin, P. N., Scherer, K. R. (2005). Vocal expression of affect. in: J. Harrigan, R. Rosenthal, and K. Scherer (eds.): *The New Handbook of Methods in Nonverbal Behavior Research*, Oxford University Press, Oxford, UK.
12. Krajewski, J., Kröger, B. (2007). Using prosodic and spectral characteristics for sleepiness detection. *Interspeech Proceedings*, 8, pp.1841–1844.
13. Ladd, D. R., Silverman, K., Tolkmitt, F., Bergmann, G., Scherer, K. R. (1985). Evidence for the independent function of intonation contour type, voice quality, and f0 range in signalling speaker affect. *Journal of Acoustical Society of America*, 78, 435–444.
14. Ladd, D.R. (1996). *Intonational phonology*. NY: Cambridge University Press, Cambridge, UK.
15. Liberman, M. (1975). *The intonational system of English*. PhD thesis, MIT. Distributed 1978 by IULC.
16. Mary, L., Yegnanarayana, B. (2008). Extraction and representation of prosodic features for language and speaker recognition. *Speech Communication*, 50, 782–796.
17. Pierrehumbert, J. (1980). *The phonology and phonetics of English intonation*. PhD thesis, MIT, Published 1988 by IULC.
18. Ruiz, R., Legros, C., Guell, A. (1990). Voice Analysis to Predict the Psychological or Physical State of a Speaker. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 61, 266–271.
19. Vollrath, M. (1994). Automatic measurement of aspects of speech reflecting motor coordination. *Behavioral Research Methods*, 26, 35–40.
20. Whitmore, J., Fisher, S. (1996). Speech during sustained operations. *Speech Communication*, 20, 55–70.
21. Zhou, G., Hansen, J., Kaiser, J. (2001). Nonlinear feature based classification of speech under stress. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 9, 201–216.

Svetlana Čičević, Milkica Nešić

THE ROLE OF VOICE FUNDAMENTAL FREQUENCY CONTOUR  
IN INSTANTANEOUS PSYCHOPHYSIOLOGICAL  
STATE ASSESMENT

Abstract

Voice fundamental frequency contour plays an important role in conveying prosodic, as well as para- and non-linguistic information, and in numerous investigations was proven as an good indicator of physical and emotional state of speaker. In the present study, the simplified F0 contour of air traffic controllers' voice was presented, as a parameter of stress induced by time on duty. Multisyllabic word was chosen as a test-word, thus F0 contours for two basic syllabic nuclei (segments) has to be shown. Generally, the end of the working session is characterized by increasing F0 values, as well as ones of the contour realizations. It seems that word segments are sensitive to stress caused by various duration of working session. That could be of use in diagnostic purposes consequently, F0 could be extracted either from the initial, or from the final segment of the acoustic or articulatory entity.

*Keywords:* Voice fundamental frequency (F0) contour, psychophysiological state, Air Traffic Control (ATC), air traffic controller, workload, word segment