
UDK 81'342.2:611.313
81'342.2:534.321.9
Izvorni znanstveni rad

Marko Liker, Damir Horga i Ines Šafarić
Filozofski fakultet, Zagreb
Hrvatska

KOARTIKULACIJSKI PRITISAK I KOARTIKULACIJSKI OTPOR: ULTRAZVUČNO ISTRAŽIVANJE

SAŽETAK

Novi koartikulacijski modeli mogu se podijeliti u dvije velike skupine: 1. modeli koji pretpostavljaju da su fonološka obilježja temeljne jedinice govorne proizvodnje (npr. feature spreading theory, window model of coarticulation) i 2. modeli koji polaze od gesta (artikulacijskih struktura) kao temeljnih jedinica govora (npr. articulatory phonology, degree of articulatory resistance theory). Obje skupine modela podjednako uspješno predviđaju neke koartikulacijske događaje, a kod drugih predviđaju različite rezultate za istu artikulacijsku strukturu. Prvi cilj rada bio je testirati mogućnosti ultrazvuka kao fiziološke metode istraživanja artikulacije. Drugi cilj ovog rada bio je istražiti koja od dvije skupine koartikulacijskih teorija uspješnije predviđa ponašanje leđa jezika za trajanja neleđnog glasnika između dva visoka vokala (npr. leđa jezika u beznačenjskoj riječi /upu/). Govorni materijal sastojao se od osam beznačenjskih riječi strukture VCV pri čemu je V = /u/, /a/, a C = /p/, /t/, /n/ i /m/. Dva govornika hrvatskog jezika zdravog govornog i slušnog statusa snimljena su akustičkim i ultrazvučnim kanalom. Segmentacija i označavanje (anotacija) ultrazvučnog signala izvršena je programom Ultra-CATS, a sinkronizacija akustičkog signala s ultrazvučnim signalom potvrđena je programom Praat. Rezultati su pokazali da prva skupina koartikulacijskih modela ne predviđa uspješno koartikulaciju neleđnog konsonanta između dva visoka vokala. Štoviše, ti pomaci su različiti za različite skupine neleđnih konsonanata, što također nije objašnjeno prvom skupinom modela. Druga skupina modela uspješnije predviđa rezultate dobivene ovim istraživanjem. U radu se raspravlja o mogućim implikacijama ovakvih rezultata na fonetska i fonološka objašnjenja koartikulacije.

Ključne riječi: govorna proizvodnja, koartikulacija, ultrazvučno mjerenje pokreta jezika, artikulacija

UVOD

Varijabilnost je jedna od osnovnih karakteristika govorne proizvodnje. Ona je međujezična, unutarjezična, međugovornička i unutargovornička. Zato je istraživanje te pojave još uvijek centralno nastojanje fonetike. Varijabilnost u govornoj proizvodnji velikim dijelom ovisi i o sveprisutnoj pojavi koja se naziva koartikulacijom. Prema nekim teorijama varijacije nastaju na razini govornog plana što rezultira promjenama u temeljnim kognitivnim jedinicama govora, dok druge teorije uzroke koartikulacijskim promjenama traže na razini izvedbe, a same temeljne jedinice govora ostaju nepromijenjene. Međutim, nakon pregleda najznačajnijih teorija i modela koartikulacije, čini se da je razlog različitosti teorijskih pristupa koartikulaciji još uvijek neslaganje o prirodi temeljnih kognitivnih jedinica govora: fonološka obilježja ili govorne geste (Farnetani i Recasens, 1999). Naime, sa stajališta govorne proizvodnje, koartikulacijske teorije bave se trima temeljnim problemima: koje su temeljne jedinice govorne proizvodnje, što se mijenja u procesu koartikulacije i zbog čega se koartikulacija pojavljuje. Koartikulacijski modeli služe prije svega za testiranje teorija na temelju konkretnih istraživačkih podataka. Dva su aspekta koartikulacije koja su temeljna za testiranje moći predviđanja modela i vrijednosti teorija: u kojem trenutku jedna gesta dopušta izvedbu druge (temporalni aspekt koartikulacije) i koje su karakteristike artikulacijske strukture koja povezuje dvije ili više artikulacijskih pozicija (dinamički, temporalno-spacijalni aspekt koartikulacije). Odgovori na sva pitanja bitno su uvjetovani prvim problemom kojim se bave koartikulacijske teorije, a to je priroda temeljnih kognitivnih jedinica govora: je li to neka vrsta fonoloških obilježja ili su to artikulacijske geste. Od suvremenih teorija i modela moguće je izdvojiti po jednog značajnog predstavnika svake strane ove dihotomije: razni oblici teorije širenja obilježja vide fonološka obilježja kao temeljne jedinice, dok teorijski okvir artikulacijske fonologije promatra govornu proizvodnju kao proces građen na dinamičnim gestama koje su ujedno i fonološke jedinice.

Teorija širenja obilježja (*feature spreading theory*) koju su predložili Daniloff i Hammarberg 1973. (Farnetani i Recasens, 1999) bila je izravna reakcija na standardnu generativnu fonologiju i stav da univerzalna pravila upravljaju koartikulacijskim procesima. Autori su tvrdili da ograničavanjem koartikulacijskih procesa na fiziološke posljedice inercije govornih organa, odnosno ograničavanjem koartikulacije na izvršni dio govorne proizvodnje, konceptualna razina procesa govorne proizvodnje ne bi imala obavijesti o mogućnostima izvršne razine, što bi za rezultat imalo neefikasan govorni sustav. Stoga su tvrdili da su koartikulacijski procesi dio fonološke razine govorne proizvodnje te artikulatori samo izvršavaju unaprijed definirane naredbe. Ovakav prikaz koartikulacijskog procesa bio je temeljen na eksperimentalnim podacima. Moll i Daniloff (Farnetani i Recasens, 1999) su 1971. zaključili da spuštanje mekog nepca pri anticipaciji nazalnog konsonanta može početi tri ili čak četiri

segmenta ranije. Tako daleko širenje anticipacijske koartikulacije nije se moglo objasniti samo inercijom izgovornih organa. Slično su isti autori utvrdili i za usnenu koartikulaciju tri godine ranije. Slične eksperimentalne dokaze dao je i rad Petera Ladefogeda iz 1967. godine (Farnetani, 1997) u kome je usporedio koartikulaciju velarnih okluziva s prednjim i stražnjim vokalima u francuskom i engleskom i pokazao da koartikulacijski procesi u ta dva jezika nisu istog stupnja. Teorija širenja obilježja s vremenom se modificirala i nadopunjavala. Iako su ova teorija i iz nje proizašle teorije uzimale u obzir različitost koartikulacijskih procesa u različitim jezicima, nisu mogle objasniti postupnu prirodu koartikulacije u istom jeziku. To je pokušala Patricia Keating koja je od 1985. do 1990. iz okvira teorije širenja obilježja razvila prozorski model koartikulacije (*window model of coarticulation*) (Farnetani, 1997). Pokazalo se da i u okvirima fonologije segmenti mogu biti više ili manje diskretni zbog širenja obilježja od jednog segmenta prema drugome. Njezini prozori temelje se upravo na fonološkoj reprezentaciji u smislu binarnih obilježja. Segmenti mogu ostati neodređeni (maksimalno širok prozor) ili im se određenim fonološkim pravilima može povećati određenost (uži prozor). Ta određenost utječe na širinu prozora, a širine prozora na krivulje koje ih povezuju. Krivulje su interpolacijske funkcije koje su vođene zahtjevima glatkoće i minimalnog artikulacijskog napora. Široki prozori ne utječu na krivulju i dopuštaju direktnu interpolaciju između prethodnog i sljedećeg segmenta. Na primjer, u beznačenjskoj riječi /ipi/ konsonant /p/ nije određen s obzirom na [+visok] i predstavlja široki prozor koji dopušta direktnu interpolaciju krivulje između dva visoka vokala /i/. S druge strane, u beznačenjskoj riječi /asa/ konsonant /s/ je određen s obzirom na [+visok] i ne dopušta direktnu interpolaciju između dva /a/. Ovaj model uspio je odrediti da postoje jezičnouniverzalni i jezičnospecifični dijelovi koartikulacije. Neodređenost s obzirom na određeno obilježje u fonologiji je kategorijalan pojam, ali u fonetici je kontinuiran pa dopušta različite realizacije iste kombinacije segmenata kod različitih govornika ili u različitim dijalektima. Upravo ta neodređenost na fonološkom planu, koja na neki način na fonetskom, izvršnom planu postaje neki oblik određenosti, glavni je prigovor ovom modelu.

S druge strane, upravo su modeli proizašli iz teorijskih okvira artikulacijske fonologije (*articulatory phonology theory*) pokušali riješiti problematične aspekte koartikulacije: konceptualni i izvedbeni, fonološki i fonetski. Artikulacijska fonologija nastala je iz potrebe da se riješi problem nepomirljivih činjenica: s jedne strane u teoriji su postojale kombinacijske strukture govora sa svojim diskretnim jedinicama, a s druge empirijski podaci koji su potvrđivali koartikulacijsku varijabilnost i nedjeljivost govornog signala. Artikulacijska fonologija polazi od stava da je pokrete vokalnog trakta tijekom govorne proizvodnje moguće rastaviti na zasebne jedinice te da ih je opet moguće nazad sastaviti. Osnovna ideja je da, iako su artikulacijski i akustički produkti govorne proizvodnje kontinuirani i ovisni o kontekstu, same akcije vokalnog prolaza koje reguliraju pokrete artikulatora su diskretne i neovisne o kontekstu (Browman i Goldstein, 1992, 1995, prema Goldstein i Fowler, 2003).

Prema ovoj teoriji, temeljne kognitivne jedinice govorne proizvodnje su upravo te regulirajuće fonetske jedinice, dinamički definirane artikulacijske geste. Koprodukcijaska teorija (*coproduction theory*) jedna je od teorija proizašlih iz navedenih okvira. Ova teorija posebno je razradila jednu od najvažnijih pretpostavki artikulacijske fonologije, a ta je da su govorni pokreti vremenski organizirani i da se preklapaju. Recasensov model stupnja artikulacijske angažiranosti (*degree of articulatory constraint model* ili *DAC*) (Recasens i sur., 1997) shvaća koartikulaciju upravo kao koprodukcijaski proces i u tome se bitno razlikuje od prozorskog modela koartikulacije Patricie Keating. Dakle, koartikulacija je prema ovom modelu proces pri kojem je govorni prolaz pod stalnim utjecajem više od jedne govorne jedinice. Prema modelu stupnja artikulacijske angažiranosti, leđa jezika imaju različite stupnjeve artikulacijske angažiranosti ovisno o njihovoj uključenosti u izvedbu nekog pokreta (Recasens i Pallares, 2001). Dvousneni /p/, na primjer, minimalno angažira leđa jezika pa ima minimalnu vrijednost, dok postalveolarni ili palatalni glasnici maksimalno koriste leđa jezika u izgovoru pa su stoga otporni na koartikulaciju, odnosno imaju maksimalnu vrijednost stupnja artikulacijske angažiranosti. Glasnici koji imaju maksimalnu vrijednost stupnja angažiranosti otporni su na koartikulacijske pritiske, ali isto tako proporcionalno svojoj otpornosti vrše isti toliki koartikulacijski pritisak na druge glasnike (Recasens i sur., 1997).

Iz prikaza ova dva temeljna teorijska okvira i dva modela koji su unutar svakog od njih nastali, moguće je zaključiti da ima slučajeva u kojima su predviđeni različiti rezultati koartikulacijskog procesa. Isto tako, čini se da postoje slučajevi u kojima su rezultati nekog koartikulacijskog procesa identični prema oba modela, ali objašnjenja razloga su različita. Primjer prvog slučaja, kada su rezultati koje ova dva modela predviđaju različiti, glasnici su /p/, /t/ i /s/ okruženi niskim vokalom /a/ u beznačenjskom slogu /aCa/, pri čemu je C jedan od tri konsonanta. Prozorski model koartikulacije tim glasnicima dodjeljuje uski prozor s obzirom na obilježje [-visok] jer su oni visoki glasnici pa su specificirani s obzirom na [-visok]. Vokal /a/ ima također vrlo uski prozor jer je specificiran s obzirom na obilježje [-visok]. Stoga je moguća direktna interpolacija koartikulacijske krivulje između dva vokala, odnosno, leđa jezika ostaju spuštena za trajanja glasnika /p/, /t/ i /s/ i nemaju se potrebu pomicati od prvog do drugog /a/. S druge strane, model stupnja artikulacijske angažiranosti definira da su leđa kod /p/ minimalno angažirana te dopušta spuštenu leđa jezika kod /p/ između dva /a/ u /apa/. Kod glasnika /t/ i /s/, ovaj model predviđa veći stupanj angažiranosti leđa jezika zbog podizanja vrha jezika. U ovom slučaju leđa jezika neće moći slobodno i neometano koartikulirati od jednog vokala do drugog. Pretpostavka ovog modela različita je od one koju nam daje prozorski model koartikulacije. Budući da ne postoji model koartikulacije koji uspješno opisuje ponašanje nekog dijela jezika u situacijama kada se na taj dio ne postavljaju artikulacijski zahtjevi, a dva opisana suvremena modela predviđaju različite rezultate, potrebni su novi eksperimentalni podaci da bi se utvrdilo koji model ih učinkovitije predviđa.

Jedna od metoda za fiziološko mjerenje govorne proizvodnje je ultrazvuk. Ultrazvučno mjerenje pokreta jezika pokazalo se kao vrlo prikladna dostupna metoda za provjeru modela govorne proizvodnje. Svjetlosne i zvučne zrake odbijaju se od rubova objekata ili prostora. Ultrazvuk se ponaša na isti način. Ultrazvučni valovi prolaze kroz meko tkivo i odbijaju se kada dođu do prijelaza u materijal drugačije gustoće ili u zrak. Ova je metoda prikladna za istraživanje jezika pri govoru jer je neinvazivna i relativno jeftina. Ultrazvučna sonda smješta se ispod brade, a zrake se šire od te točke kroz usnu šupljinu. Prijelaz između gornje površine jezika i zraka (ili nepca ako ga jezik dodiruje) vidi se kao bijela linija na ultrazvučnoj slici. Crni prostor ispod te linije je tkivo jezika. Spoj bijele linije i crnog prostora na ultrazvučnoj slici predstavlja gornju površinu jezika (sl. 1). Odbijene zrake prima ultrazvučna sonda, a nakon računalnog procesiranja prikazuje se kao videosignal. Svaka metoda za istraživanje govora ima svoje prednosti i nedostatke. Maureen Stone (Stone, 1997) navodi osnovne nedostatke i prednosti ultrazvučne metode. Jedan je osnovni nedostatak iz kojeg proizlaze ostali, a taj je da ultrazvučna slika ne prikazuje ništa iznad prvog prijelaza tkivo / zrak ili tkivo / kost. Prednosti ultrazvuka su da je brz (60 – 100 prikaza u sekundi), da nije biološki opasan za ljude te da omogućuje neinvazivno promatranje jezika pri govoru.

Ciljevi ovoga rada bili su testirati ultrazvučnu metodu u analizi govora i njome utvrditi koji od dva navedena modela uspješnije predviđa ponašanje leđa jezika za trajanja nelednog glasnika između dva visoka i dva niska vokala. Dakle, istraživačko je pitanje bilo hoće li različiti neledni, nevisoki glasnici biti jednako koartikulacijski otporni.

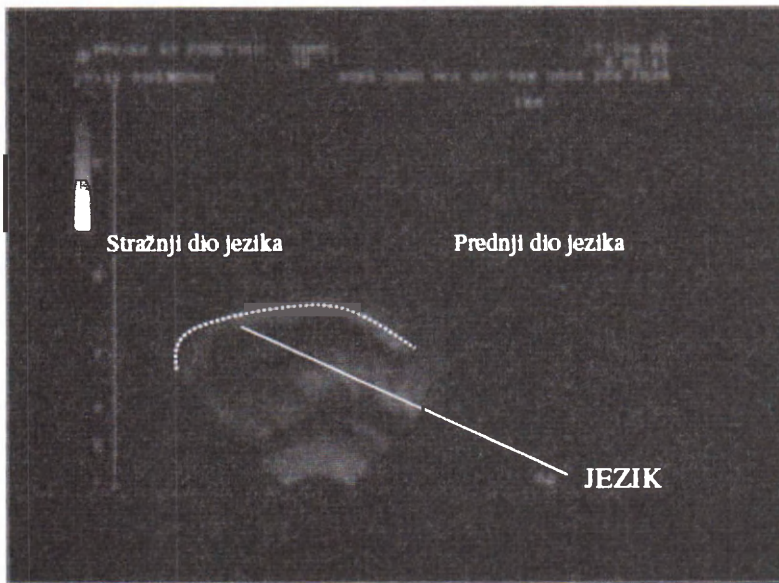
PROCEDURA

Instrumentarij

U istraživanju je korišten ultrazvučni sustav Odsjeka za fonetiku na Filozofskom fakultetu u Zagrebu. Sustav se sastoji od ultrazvučnog aparata i sonde, videokartice i osobnog računala. Akustički signal korišten je samo za segmentiranje te je snimljen standardnom opremom za snimanje zvuka.

Ultrazvučni aparat je Shimadzu SDU 450xl sa Shimadzu mikrokonveksnom sondom. Ultrazvučni signal je između 3,5 i 6 MHz. Sustav može slati i primati signal u rasponu od 140 stupnjeva s maksimalnom dubinom od 25 cm. Za istraživanje pokreta jezika bilo je dovoljno da uređaj ima širinu signala od oko 120 stupnjeva na 6 – 8 centimetara dubine da bi se mogao prikazati jezik od korijena do vrha. Frekvencija uzorkovanja ovisi o dubini signala, ali je dodatno ograničena videokarticom i njezinim videostandardom PAL koji podržava frekvenciju od 24 sličice u sekundi.

Ultrazvučni signal prenosi se USB videokarticom Terratec Grabster AV400 u standardnom PAL formatu. Signal se pohranjuje na računalni tvrdi disk. Akustički signal se snima simultano s videom. Ilustracija tako prikazanog ultrazvučnog signala je na slici 1.



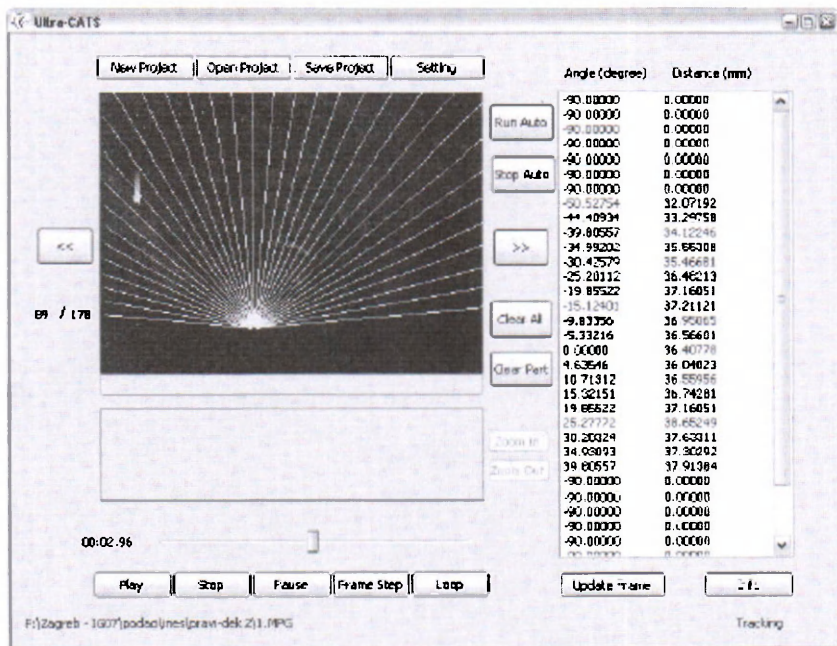
Slika 1. Ilustracija prikaza ultrazvučnog signala
Figure 1. An illustration of an ultrasound image

Metoda

Snimljena su dva ispitanika urednog govornog i slušnog statusa. Govorni materijal sastojao se od beznačenskih riječi simetrične vokalske konstrukcije VCV pri čemu vrijedi da je V /a/ ili /u/, a C je /p/, /t/, /n/ ili /m/. Ispitanici su se prije snimanja upoznali s listom riječi i uvježbali držanje ultrazvučne sonde pri izgovoru. Način stabilizacije sonde tijekom snimanja određen je prema uputama Maureen Stone (Stone, 2005). Postoje dva osnovna načina stabilizacije sonde ispod brade tijekom snimanja govora: imobilizirani i neimobilizirani. Imobilizirani ili fiksni sprječava pomicanje sonde pri pomicanju donje čeljusti, pri čemu nepce služi kao referentna točka za mjerenje pomaka. Kod neimobilizirane metode stabilizacije sonda se pomiče zajedno s donjom čeljusti pa donja čeljust služi kao referentna točka za mjerenje pomaka. U ovom radu izabrana je neimobilizirana metoda stabilizacije sonde rukom. Mjerenje pomaka nije vršeno pretvaranjem udaljenosti na videozapisu u milimetre, već relativno, brojem piksela kao mjerom udaljenosti od referentne točke na dnu brade. To je omogućilo relativno jednostavnu usporedbu snimljenih riječi te vizualnu identifikaciju pomaka leđa jezika između svakog videoprozora, što je bio temelj ovoga rada. Videosnimka ultrazvučne vizualizacije jezika označena (anotirana) je programom Ultra-CATS (Gu, 2004). Sinkronizacija akustičkog i ultrazvučnog signala potvrđena je programom Praat (Boersma i Weenink, 2007). Podaci su u

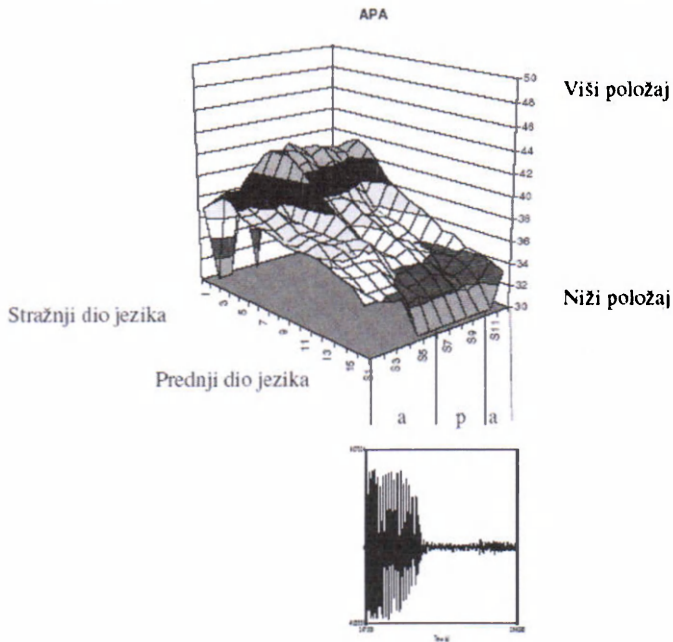
binarnom obliku eksportirani u MS Excel u kojemu su pripremljeni za redukciju, vizualizaciju i analizu.

Tipični prozor za označavanje ultrazvučnog signala u programu Ultra-CATS izgleda kao na slici 2. Na videoprozoru koji se nalazi u lijevom gornjem dijelu je ultrazvučni prikaz jezika koji je označen tako da se ručno ili automatski označe gornji rubovi jezika na svim uzastopnim sličicama filma za svaku izgovorenu riječ kod svakog ispitanika. Zatim se na tako označene rubove jezika postavi mreža vektora koji pod određenim kutom sijeku liniju rubova jezika. Podaci o udaljenosti svakog vektora od referentne točke u dnu videoprikaza do trenutka kada taj vektor siječe liniju ruba jezika ispisani su u desnom dijelu prikaza. Ti se podaci eksportiraju u binarnom obliku za svaku sličicu u svakoj riječi.



Slika 2. Ilustracija prikaza tipičnog prozora za analizu ultrazvučnog signala u programu Ultra-CATS
Figure 2. An illustration of a typical ultrasound analysis window in the Ultra-CATS software

Sirovi podaci prilagođuju se i reduciraju na informativne podatke u tabličnom kalkulatoru. Nakon toga modelira se slijed pomaka rubova jezika u trodimenzionalnom prostoru, iz čega je moguće zaključivati o pomacima leda jezika, odnosno o detaljima dinamike koartikulacije u istraživanoj riječi (sl. 3).



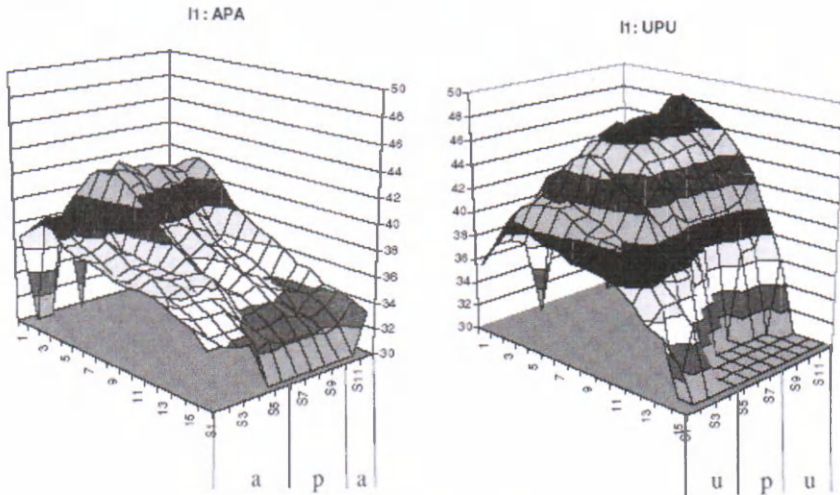
Slika 3. Ilustracija trodimenzionalnog prikaza slijeda kretanja leđa jezika u beznačenjskoj riječi /apa/

Figure 3. An illustration of a three-dimensional model of tongue dorsum movement in the meaningless word /apa/

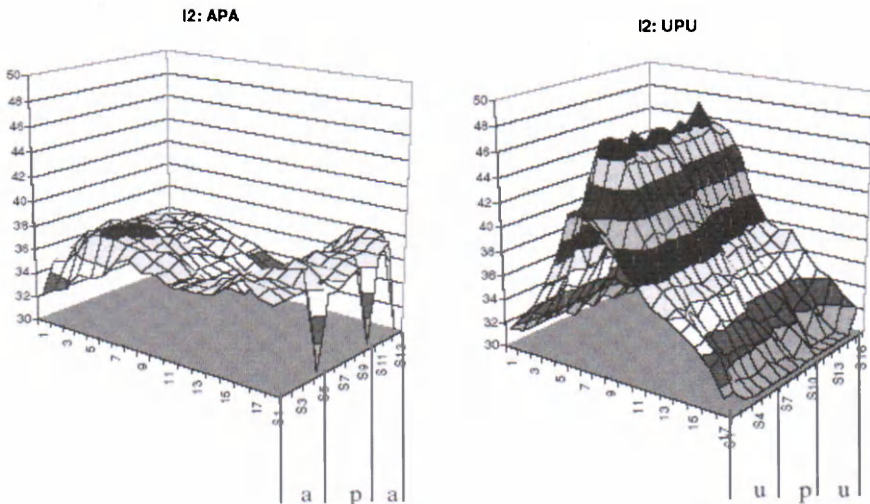
REZULTATI

Analiza rezultata ultrazvučne analize temelji se na vizualnoj inspekciji modela leđa jezika bez statističke analize, jer je cilj rada utvrditi razlikuju li se neledni konsonanti u koartikulacijskom otporu na leđima jezika ili ne. Dakle, cilj je bio utvrditi jesu li prikazi kretanja leđa jezika u ova četiri konsonanta (/p/, /t/, /n/ i /m/) jednaki ili se razlikuju.

Rezultati ultrazvučne analize dvousnenog konsonanta /p/ u beznačenjskim riječima /apa/ i /upu/ pokazuju vrlo visok stupanj direktne koartikulacije između dva vokala kod oba ispitanika. Naime, kod oba ispitanika uočljiv je relativno nizak položaj leđa jezika kod /apa/ tijekom cijele riječi te viši položaj leđa jezika kod /upu/ tijekom cijele riječi. Također, uočljiv je stabilan položaj leđa jezika tijekom cijele riječi ili barem od početka faze pripreme konsonanta do kraja riječi, posebno kod drugog ispitanika (I2). To pokazuje nizak stupanj koartikulacijskog otpora glasnika /p/, a taj je stupanj niži kod I2 nego kod I1 (sl. 4 i 5).

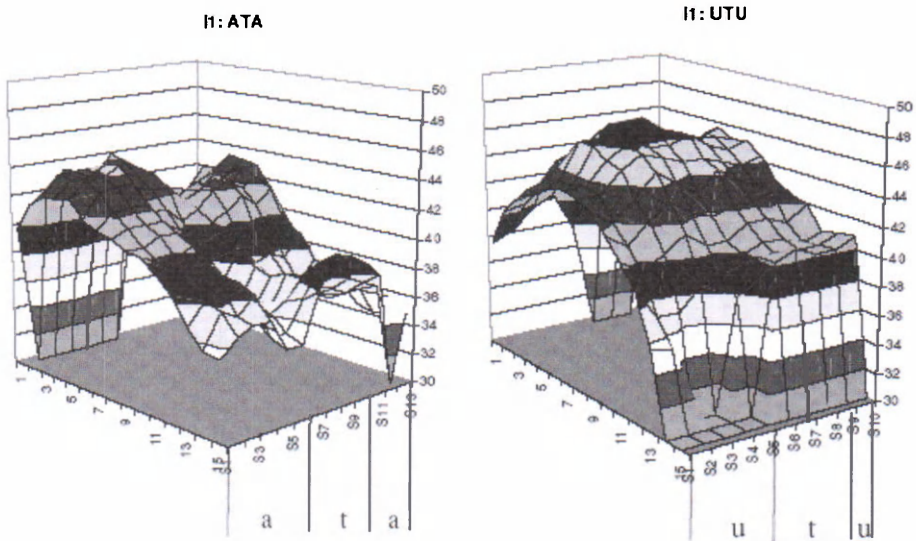


Slika 4. Slijed položaja jezika pri izgovoru beznačenjskih riječi /apa/ i /upu/ kod prvog ispitanika (I1)
Figure 4. The sequence of tongue movements during production of meaningless words /apa/ and /upu/ in the first subject (I1)



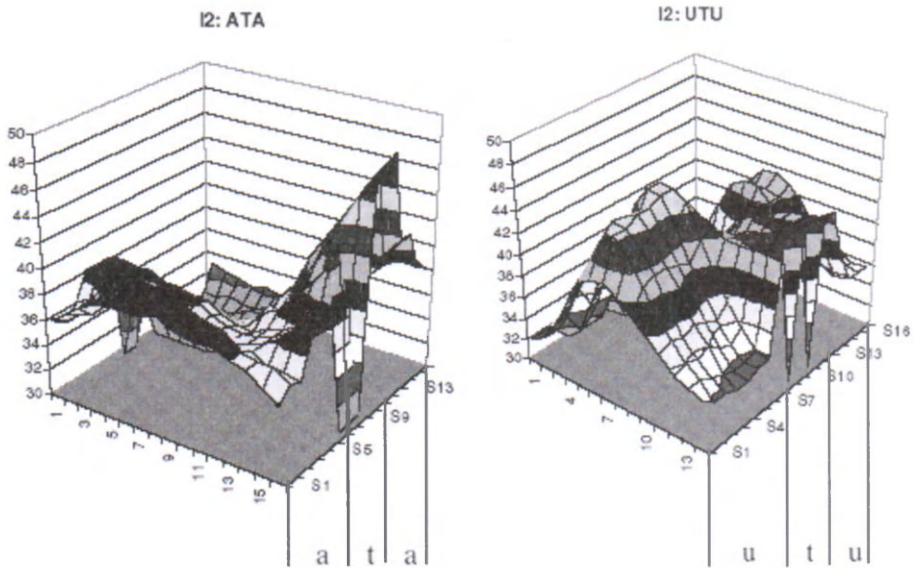
Slika 5. Slijed položaja jezika pri izgovoru beznačenjskih riječi /apa/ i /upu/ kod drugog ispitanika (I2)
Figure 5. The sequence of tongue movements during production of meaningless words /apa/ and /upu/ in the second subject (I2)

Rezultati analize vrhjezičnog konsonanta /t/ u riječima /ata/ i /utu/ pokazuju veći koartikulacijski otpor glasnika /t/ nego glasnika /p/. Naime, /t/ ima relativno visok stupanj koartikulacijske podložnosti jer su leđa relativno nisko za trajanja riječi /ata/, a nešto više za trajanja riječi /utu/. Ipak, ta razlika u položaju leđa kod vokalske okoline s /a/ i one s /u/ nije tako velika kao kod konsonanta /p/. Iz toga se može zaključiti da se /t/ i /d/ razlikuju u koartikulacijskom otporu, odnosno podložnosti, pri čemu je /p/ manje otporan na koartikulacijske procese od /t/. Isto tako, u trenutku podizanja vrha jezika za konsonant /t/ primjećuje se spuštanje stražnjeg dijela leđa jezika te njihovo ponovno blago podizanje nakon otpuštanja vrhjezičnog zatvora, što ukazuje na artikulacijsku angažiranost leđa jezika. Takva je koartikulacijska strategija izraženija kod drugog ispitanika (I2) nego kod prvog (I1), odnosno kod ispitanika I2 konsonant /t/ otporniji je na koartikulaciju nego što je to slučaj kod ispitanika I1 (sl. 6 i 7).



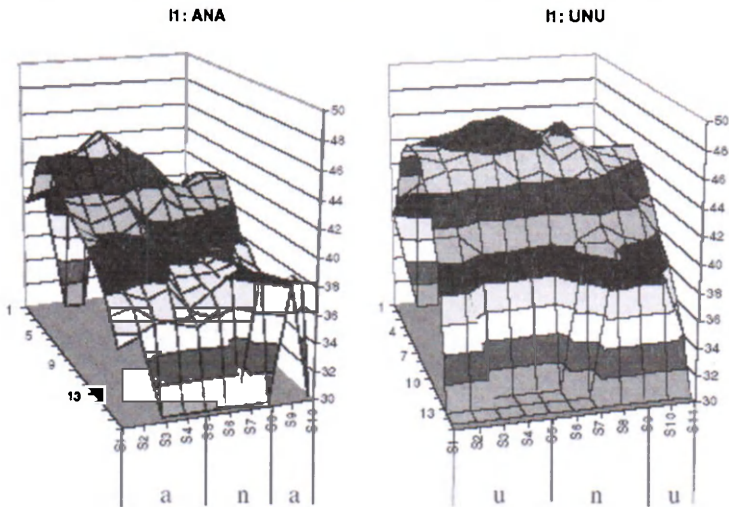
Slika 6. Slijed položaja jezika pri izgovoru beznačenjskih riječi /ata/ i /utu/ kod prvog ispitanika (I1)

Figure 6. The sequence of tongue movements during production of meaningless words /ata/ and /utu/ in the first subject (I1)

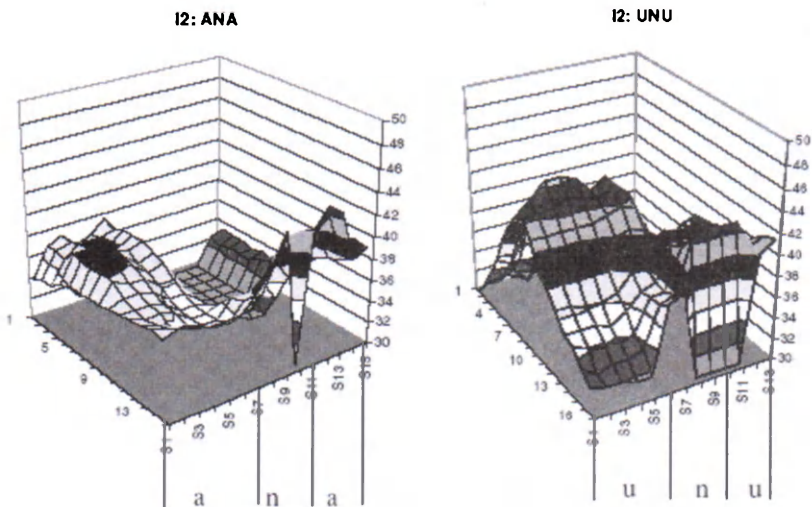


Slika 7. Slijed položaja jezika pri izgovoru beznačenjskih riječi /ata/ i /utu/ kod drugog ispitanika (I2)
Figure 7. The sequence of tongue movements during production of meaningless words /ata/ and /utu/ in the second subject (I2)

Analiza nosnog vrhjezičnog konsonanta /n/ pokazala je slične rezultate onima za /t/. Konsonant /n/ je približno jednako otporan na koartikulacijske utjecaje kao /t/. Ipak, kod ispitanika I2 razlika u položaju leđa jezika između riječi /ana/ i /unu/ veća je nego kod /t/, iz čega se može zaključiti da je /n/ ipak podložniji koartikulacijskim utjecajima od /t/. Kao i kod /t/, u trenutku podizanja prednjeg dijela jezika kod /n/ dolazi do spuštanja stražnjeg dijela leđa jezika. Takva strategija i u ovom je slučaju izraženija kod drugog ispitanika (I2) (sl. 8 i 9).

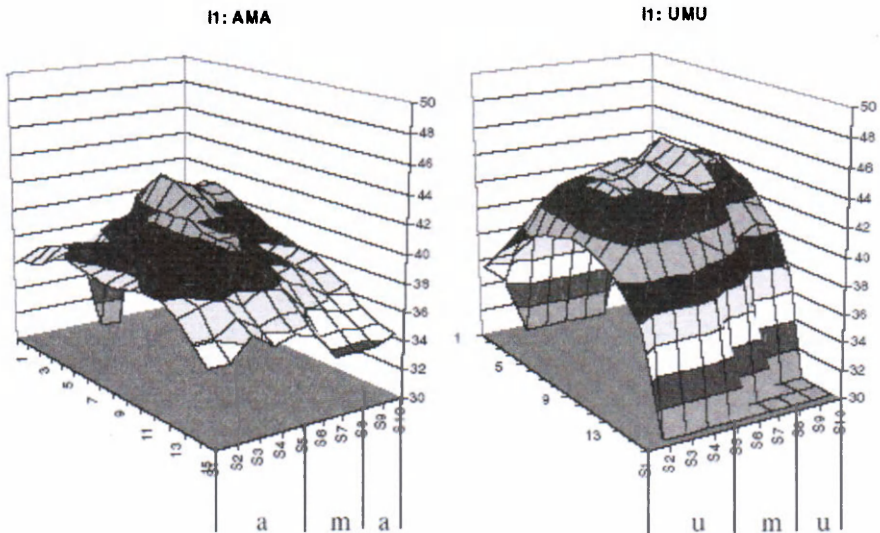


Slika 8. Slijed položaja jezika pri izgovoru beznačenjskih riječi /ana/ i /unu/ kod prvog ispitanika (I1)
Figure 8. The sequence of tongue movements during production of meaningless words /ana/ and /unu/ in the first subject (I1)



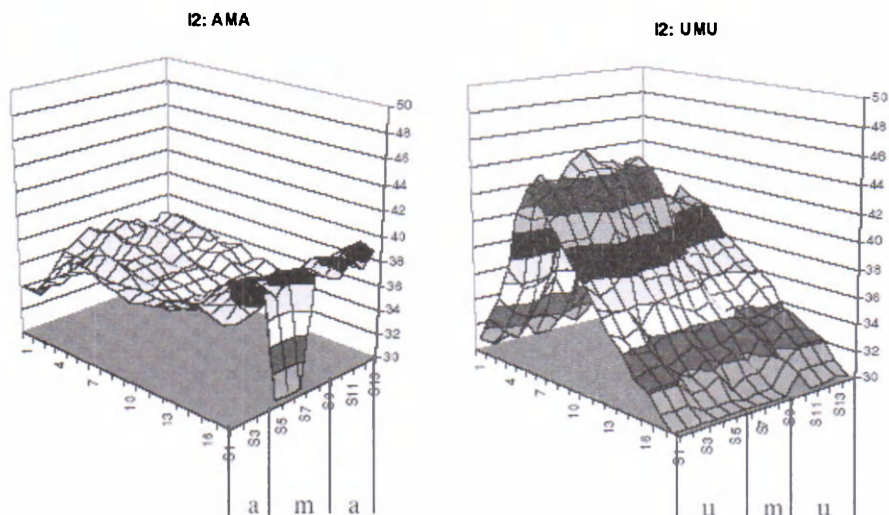
Slika 9. Slijed položaja jezika pri izgovoru beznačenjskih riječi /ana/ i /unu/ kod drugog ispitanika (I2)
Figure 9. The sequence of tongue movements during production of meaningless words /ana/ and /unu/ in the second subject (I2)

Leđa jezika ponašaju se slično i za trajanja dvousnenika /m/. Međutim, dva ispitanika služe se potpuno različitom strategijom. Prvi ispitanik (I1) podiže leđa jezika za trajanja glasnika /m/ kako u okruženju niskog vokala /a/ tako i u okruženju visokog /u/. Drugi ispitanik ne mijenja položaj leđa za trajanja glasnika /m/ niti u jednoj vokalskoj okolini. Bez obzira na to kod oba ispitanika /m/ pokazuje visok stupanj koartikulacijske podložnosti. Naime, leđa jezika gotovo ne mijenjaju svoj položaj za trajanja /m/ u obje riječi. Također, velika je razlika u visini leđa jezika između riječi /ama/ i /umu/ (sl. 10 i 11).



Slika 10. Slijed položaja jezika pri izgovoru beznačenjskih riječi /ama/ i /umu/ kod prvog ispitanika (I1)

Figure 10. The sequence of tongue movements during production of meaningless words /ama/ and /umu/ in the first subject (I1)



Slika 11. Slijed položaja jezika pri izgovoru beznačenjskih riječi /ama/ i /umu/ kod drugog ispitanika (I2)

Figure 11. The sequence of tongue movements during production of meaningless words /ama/ and /umu/ in the second subject (I2)

RASPRAVA I ZAKLJUČAK

Ultrazvuk u fonetici još se uvijek smatra metodom u razvoju. O tome svjedoče brojni radovi koji opisuju nove načine spajanja ultrazvučnog uređaja u istraživački sustav te snimanja i analize ultrazvučnog signala (Chi-Fishman, 2005; Li i sur., 2005a, 2005b; Iskarous i sur., 2005). U isto vrijeme ti radovi govore i o složenosti prikaza i analiziranja podataka ultrazvukom. Upravo zbog toga prvi je cilj rada bio testirati ultrazvučnu metodu za analizu pokreta jezika pri govoru. Pokazalo se da je ova metoda primjerena istraživanju pokreta jezika, a posebno je iskoristiva za istraživanja na spoju fonetike i fonologije jer pokazuje kretanje i koordinaciju cijelog jezika, a ne samo izoliranih točaka (Davidson, 2005). U ovom radu ultrazvuk je omogućio direktno promatranje slijeda kretanja leđa jezika, što je bilo nužno za ostvarenje drugog cilja rada.

Drugi cilj rada bio je istražiti koja od dvije skupine koartikulacijskih teorija uspješnije predviđa ponašanje leđa jezika za trajanja nelednog glasnika u simetričnoj VCV okolini visokog i niskog vokala. Problem je što danas nije poznato koliko je varijabilnosti u lingvalnoj aktivnosti dopušteno na pretpostavljenom mjestu sužavanja govornog prolaza (Recasens, 1999), a još je manje poznato kolika je varijabilnost onih dijelova jezika koji nisu uključeni u formiranje onoga što se tradicionalno zove mjestom artikulacije. Pretpostavka je

bila da će modeli u okviru artikulacijske fonologije uspješnije predvidjeti rezultate ovog istraživanja od modela iz okvira teorije širenja obilježja.

Rezultati su pokazali da se svi konsonanti generativnog obilježja [-visok] ne ponašaju jednako u beznačenjskoj riječi strukture VKV u kojoj V označava visoki vokal. Naime, iako su sva četiri analizirana konsonanta (/p/, /t/, /n/ i /m/) u hrvatskom jeziku označeni kao [-visok], njihovo ponašanje u simetričnoj okolini visokog vokala bilo je različito. Dok je /p/ pokazao vrlo visok stupanj koartikulacijskog otpora, konsonanti /m/ i /n/ pokazali su veći koartikulacijski otpor, ne dopuštajući direktnu koartikulaciju između dva vokala. Vrhjezični /t/ pokazao je najveći koartikulacijski otpor u ovom istraživanju. Međutim, treba imati na umu da su ove razlike u koartikulacijskom otporu između istraživanih glasnika kod ispitanika I1 vrlo male, dok su kod ispitanika I2 veće i jasnije. Već sam podatak da su se ovi glasnici ponašali različito u istoj okolini visokog vokala pokazuje da prozorski model koartikulacije kao varijanta teorije širenja obilježja nije uspješno predvidio podatke iz ovog rada. S druge strane, model stupnja artikulacijske angažiranosti predviđa da će istraživani glasnici pružati različit koartikulacijski otpor s obzirom na stupanj angažiranosti leđa jezika u njihovoj proizvodnji. Iako niti jedan od istraživanih glasnika nije leđni konsonant, /t/ se pokazao kao glasnik koji najviše ograničuje leđa u njihovu koartikuliranju, dok se /p/ pokazao kao glasnik koji pruža najmanji koartikulacijski otpor. Stražnji dio leđa jezika za vrijeme postizanja cilja za glasnike /t/ i /n/ (podizanja vrha jezika), spušta se i u niskoj i u visokoj vokalskoj okolini. Taj podatak nije u skladu sa shvaćanjima nekih autora koji proporcionalnim smatraju podizanje leđa jezika i stupanj artikulacijske angažiranosti (Farnetani, 1990). Rezultati ovog rada pokazuju da leđa jezika mogu biti vrlo nisko i pružati koartikulacijski otpor, biti artikulacijski angažirana. Nepostojanje nužne proporcionalne povezanosti između visine i artikulacijske angažiranosti leđa jezika potvrđuju i drugi radovi (Recasens, 1997; Liker i Gibbon, 2008). Spuštanje stražnjeg dijela leđa jezika za trajanja /t/ i /n/ može se objasniti artikulacijskim i aerodinamičnim zahtjevima. Kod /t/ to je spuštanje veće jer se šupljina iza mjesta okluzije širi zbog povećanja tlaka prije eksplozije. Kod /n/ to širenje nije toliko veliko jer zračna struja prolazi kroz nosnu šupljinu. Iako su ova dva glasnika prema modelu artikulacijske angažiranosti u istoj skupini, Recasens (1997) napominje da način artikulacije može utjecati na povećanje ili smanjenje stupnja angažiranosti. Slično je i s konsonantima /p/ i /m/. Prema modelu iz 1997. ova dva glasnika imaju isti stupanj artikulacijske angažiranosti koji je niži od /t/ i /n/. Ipak, rezultati pokazuju da za vrijeme realizacije dvousnenog /m/ dolazi do blagog podizanja leđa jezika (posebno kod ispitanika I1), dok kod /p/ nema takvih pomaka. Recasensov model ovu razliku također objašnjava povećanjem stupnja artikulacijske angažiranosti kod /m/, do kojeg dolazi zbog podizanja leđa pri otvaranju nosnog prolaza. Ovaj model, međutim, ne objašnjava u potpunosti različitu strategiju kod dva ispitanika pri koartikulaciji vokala s glasnikom /m/. Kod I1 dolazi do jasnog podizanja leđa jezika tijekom /m/, dok je kod I2 ova strategija donekle uočljiva tek kada je /m/ u visokoj vokalskoj okolini. Općenito,

ispitanik II pokazao je viši stupanj direktne koartikulacije između vokala te niži stupanj koartikulacijskog otpora istraživanih konsonanata nego ispitanik I2. I1 je također pokazao manju razliku između istraživanih konsonanata nego I2.

Ograničenost govornog uzorka ne dozvoljava konačne zaključke u ovom radu. Ipak, može se tvrditi da se rezultati ultrazvučne analize više slažu s modelom artikulacijske angažiranosti i ne podržavaju u potpunosti prozorski model koartikulacije. Rezultati su također pokazali da različiti govornici mogu imati različite koartikulacijske strategije, pa je pri istraživanju govorne proizvodnje dobro istraživati svakog ispitanika zasebno, bez među-ispitaničkog uprosječavanja. Manjkavost modela artikulacijske angažiranosti je što ne objašnjava u potpunosti na koji će se način neka artikulacijska struktura ponašati, već za to koristi vanjske artikulacijske pretpostavke. Ipak, modeli ionako ne postoje da bi odgovarali podacima, već da bi precizirali pitanja (Karlin, prema Lofqvist, 1997).

REFERENCIJE

- Boersma, P., Weenink, D.** (2007). Praat: doing phonetics by computer (Version 5.5.08) [Računalni program]. Preuzeli 2007. sa stranice <http://www.praat.org/>.
- Chi-Fishman, G.** (2005). Quantitative lingual, pharyngeal and laryngeal ultrasonography in swallowing research: A technical review. *Clinical Linguistics & Phonetics* 19, 6-7, 589-604.
- Davidson, L.** (2005). Addressing phonological questions with ultrasound. *Clinical Linguistics & Phonetics* 19, 6-7, 619-633.
- Farnetani, E.** (1990). V-C-V lingual coarticulation and its spatiotemporal domain. U Hardcastle, W. J. i Marchal, A. (ur.), *Speech production and speech modelling*, NATO ASI Series, 93-130. Dordrecht-Boston-London: Kluwer Academic Publishers.
- Farnetani, E.** (1997). Coarticulation and Connected Speech Processes. U Hardcastle, W. J. i Laver, J. (ur.), *The Handbook of Phonetic Sciences*, 371-405. Oxford: Blackwell.
- Farnetani, E., Recasens, D.** (1999). Coarticulation models in recent speech production theories. U Hardcastle, W. J. i Hewlett, N. (ur.), *Coarticulation: theory, data and techniques*, 31-68. Cambridge: Cambridge University Press.
- Goldstein, L., Fowler, C. A.** (2003). Articulatory phonology: A phonology for public language use. U Schiller, N. O. i Meyer, A. (ur.), *Phonetics and Phonology in Language Comprehension and Production: Differences and Similarities*, Berlin-New York: Mouton de Gruyter.
- Gu, Y.** (2004). Ultra-CATS; Ultrasonographic Contour Analyzer for Tongue Surfaces. *User Manual*. Toronto: Voice and Resonance Lab, University of Toronto.

-
- Iskarous, D. H. W. K., Tiede, M. K., Ostry, D. J., Lehnert-LeHouillier, H., Vatikiotis-Bateson, E., Hailey, D. S.** (2005). The Haskins Optically Corrected Ultrasound System (HOCUS): Tutorial. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* **48**, 543-553.
- Li, M., Kambhamettu, C., Stone, M.** (2005a). Automatic contour tracking in ultrasound images. *Clinical Linguistics & Phonetics*, **19**, 6-7, 545-554.
- Li, M., Kambhamettu, C., Stone, M.** (2005b). Tongue motion averaging from contour sequences. *Clinical Linguistics & Phonetics* **19**, 6-7, 515-528.
- Liker, M., Gibbon, F. E.** (2008). *Lingual coarticulation index for epg: voiced vs. voiceless*. Izlaganje na 5. međunarodnom elektropalatografskom simpoziju u Edinburgu. Knjiga sažetaka, http://www.qmu.ac.uk/ssrc/conf/epg5_2008/default.htm.
- Löfqvist, A.** (1997). Theories and Models of Speech Production. U Hardcastle, W. J. i Laver, J. (ur.), *The Handbook of Phonetic Sciences*, 405-426. Oxford: Blackwell.
- Recasens, D.** (1997). A model of lingual coarticulation based on articulatory constraints. *Journal of the Acoustical Society of America*, **102** (1), 544-561.
- Recasens, D.** (1999). Lingual coarticulation. U Hardcastle, W. J. i Hewlett, N. (ur.), *Coarticulation: theory, data and techniques*, 80-104. Cambridge: Cambridge University Press.
- Recasens, D., Pallares, M. D.** (2001). Coarticulation, Assimilation and Blending in Catalan Consonant Clusters. *Journal of Phonetics* **29**, 273-301.
- Recasens, D., Pallares, M. D., Fontdevila, J.** (1997). A model of lingual coarticulation based on articulatory constraints. *Journal of the Acoustical Society of America* **102**,1, 544-561.
- Stone, M.** (1997). Laboratory techniques for investigating speech articulation. U Hardcastle, W. J. i Laver, J. (ur.), *The Handbook of Phonetic Sciences*, Blackwell, Oxford, 11-33.
- Stone, M.** (2005). A guide to analyzing tongue motion from ultrasound. *Clinical Linguistics & Phonetics* **19**, 6-7, 455-501.
-

Marko Liker, Damir Horga and Ines Šafarić
Faculty of Humanities and Social Sciences, Zagreb
Croatia

COARTICULATORY PRESSURE AND COARTICULATORY RESISTANCE: AN ULTRASOUND STUDY

SUMMARY

Recent coarticulation models can be divided into two large groups: 1. those that see features as basic units of speech production (for example feature spreading theory, window model of coarticulation) and 2. those that have gestures (articulatory structures) as the focal point of speech production (for example articulatory phonology, degree of articulatory resistance theory). Both groups of models successfully predict some coarticulatory events, but in some cases they predict different outcomes for the same articulatory structure. The first goal of this paper was to test ultrasound as a physiological method of investigating articulation. The second goal was to test which of the two groups of coarticulatory models more successfully predicts the behaviour of tongue dorsum during a non-dorsal consonant between two high vowels (for example, tongue dorsum during /upu/). Speech material consisted of 8 VCV nonsense words, where V represented /u/, /a/, while C represented /p/ /t/, /n/ and /m/. Acoustic and ultrasound data were collected from two healthy Croatian speakers. Segmentation and annotation were performed by means of the Ultra-CATS software, while the synchronization of the acoustic and ultrasound signal was confirmed by Praat. The results showed that the first group of coarticulatory models did not successfully predict the coarticulation of a non-dorsal consonant between the two high vowels. What is more, the movements of the tongue dorsum proved to be different for different types of non-dorsal consonants, which the feature-based models also fail to explain. The second group of models predicted the results of this study much more successfully. The paper discusses possible implications of such results on phonetic and phonological explanations of coarticulation.

Key words: *speech production, coarticulation, ultrasound imaging of tongue movements, articulation*