

Akustička analiza koartikulacijske i biomehaničke varijabilnosti hrvatskih vokala

Špoljar, Tea

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Filozofski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:131:927697>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-29**



Sveučilište u Zagrebu
Filozofski fakultet
University of Zagreb
Faculty of Humanities
and Social Sciences

Repository / Repozitorij:

[ODRAZ - open repository of the University of Zagreb
Faculty of Humanities and Social Sciences](#)



Sveučilište u Zagrebu
Filozofski fakultet
Odsjek za fonetiku

Tea Špoljar

**AKUSTIČKA ANALIZA KOARTIKULACIJSKE I BIOMEHANIČKE
VARIJABILNOSTI HRVATSKIH VOKALA**

Diplomski rad

Zagreb, rujan, 2024.

Sveučilište u Zagrebu
Filozofski fakultet
Odsjek za fonetiku

Tea Špoljar

**AKUSTIČKA ANALIZA KOARTIKULACIJSKE I BIOMEHANIČKE
VARIJABILNOSTI HRVATSKIH VOKALA**

Diplomski rad

Mentor:
izv. prof. dr. sc. Marko Liker

Zagreb, rujan, 2024.

PODACI O AUTORU

Ime i prezime: Tea Špoljar

Naziv oba studija: Fonetika, znanstveno usmjerenje fonetike/Lingvistika, smjer računalni

PODACI O RADU

Naslov rada na hrvatskome jeziku: AKUSTIČKA ANALIZA KOARTIKULACIJSKE I BIOMEHANIČKE VARIJABILNOSTI HRVATSKIH VOKALA

Naslov rada na engleskome jeziku: ACOUSTIC ANALYSIS OF COARTICULATION AND BIOMECHANICAL VARIABILITY OF CROATIAN VOWELS

Datum predaje rada: 27.08.2024.

IZJAVA O AUTORSTVU DIPLOMSKOGA RADA

Ovim potvrđujem da sam osobno napisala diplomski rad pod naslovom

AKUSTIČKA ANALIZA KOARTIKULACIJSKE I BIOMEHANIČKE VARIJABILNOSTI HRVATSKIH VOKALA

i da sam njegova autorica.

Svi dijelovi rada, podaci ili ideje koje su u radu citirane ili se temelje na drugim izvorima (mrežni izvori, udžbenici, knjige, znanstveni, stručni članci i sl.) u radu su jasno označeni kao takvi te su navedeni u popisu literature.

Tea Špoljar

Zagreb, 27. kolovoza, 2024.

Zahvala

Zahvaljujem svome mentoru dr.sc. Marku Likeru na svim savjetima, podršci i vjerovanju u uspješnost ovoga rada.

Zahvaljujem se i Jordanu Bičaniću na izdvojenom vremenu i pomoći s akustičkim snimanjima te studentima i prijateljima koji su pristali biti ispitanici u istraživanju.

Najviše zahvaljujem svojim roditeljima, bratu, bakama i djedovima i zaručniku Matiji koji su me strpljivo i puni ljubavi motivirali, bodrili i pratili u svim mojim studentskim usponima i padovima. Ovo je za vas.

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Vokali	3
3. Varijabilnost – biomehanička i koartikulacijska	6
4. Hipoteze i cilj rada	12
5. Metoda.....	13
5.1. Govorni materijal	13
5.2. Ispitanici i procedura	14
5.3. Analiza podataka	14
6. Rezultati	15
6.1. Ispitanik 1	15
6.2. Ispitanik 2	17
6.3. Ispitanik 3	18
6.4. Ispitanik 4	19
6.5. Ispitanik 5	20
6.6. Ispitanik 6	22
6.7. Ispitanik 7	23
6.8. Ispitanik 8	24
6.9. Ispitanik 9	24
6.10. Ispitanik 10	25
6.11. Ispitanik 11	27
6.12. Ispitanik 12	28
6.13. Ispitanik 13	29
6.14. Ispitanik 14	30
6.15. Ispitanik 15	31
6.16. Prosječni rezultati svih ispitanika.....	32
7. Rasprava i zaključak.....	34
8. Literatura	38
9. Sažetak	43
10. Abstract	44

1. Uvod

Interes za proučavanje govora javlja se već oko 5. stoljeća prije nove ere. Rana proučavanja govora svodila su se uglavnom na subjektivna bilježenja i skiciranja, a interpretacije rezultata takvih 'analiza' često su bile mističnih tumačenja. Od tada pa sve do 16. stoljeća fonetika se bavila tek osnovama današnjih proučavanja poput fonacije i disanja, dok za samu produkciju govora nije bilo prevelikog interesa. Ključan iskorak na području fonetike događa se početkom 19. stoljeća prvim pokušajima sinteze govora akustičkim rezonatorima, a 40-ih i 50-ih godina prošlog stoljeća pojavom instrumentalne akustičke metode fonetika kao znanost postaje egzaktna i kvantitativna (Horga i Liker, 2016).

Suvremena proučavanja govora možemo podijeliti na tri područja – artikulacijsko, akustičko i perceptivno. S obzirom da akustički signal posreduje između govornika i slušatelja, akustička je analiza važna za razumijevanje i govorne produkcije i percepcije govora. Prvi veliki napredak akustičke analize je pojava oscilograma. Zvukovi govora prolazni su akustički događaji relativno kratkoga trajanja pa je prikaz takvoga zvuka tehnički izazov. Oscilogram je omogućio prikaz valnih oblika glasova i ti valni oblici bili su prvi pokazatelji pravilnosti u govornim zvukovima. U prvim analizama naglasak je uglavnom bio na vokalima jer su artikulacijski i akustički stacionirani pa ih je bilo lakše analizirati nego konsonante (Horga i Liker, 2016). Međutim, podaci dobiveni oscilogramom nisu bili dovoljni za donošenje zaključaka o razlikama između vokala unutar jezika, dok pojavom spektralne reprezentacije zvuka 1940-ih godina to postaje moguće. Spektrograf je donio mnoge prednosti u proučavanju govora zbog brze analize koja je omogućila sakupljanje velikog broja podataka u kratkom vremenu (Kent i Read, 2002). Akustička analiza govornog zvuka danas je najraširenija metoda istraživanja fonetike zbog financijske i metodološke ekonomičnosti, ali važnije zbog toga što snimljeni akustički signal fizikalno najbliže odgovara cjelovitom govoru čovjeka (Horga i Liker, 2016).

Akustičkim promatranjem, istraživanjem i analizom zvuka govora bavi se akustička fonetika. Ona opisuje akustičke signale pokreta artikulatora, varijabilnost tih signala u produkciji s obzirom na spol, dob i jezik te različite uvjete pod kojima se proizvodnja govora odvija. Tehnološki razvoj i današnja dostupnost računala i besplatnih softvera omogućuju da se akustičkim analiziranjem zvuka bavi svatko tko je za to izučen, što metodu čini toliko popularnom (Harrington, 2010). Prvi korak akustičke analize govornog zvuka jest snimanje govora koji se želi analizirati kako bi se mogao neograničeno reproducirati. Izravan grafički

prikaz snimljenog zvuka ili govora je oscilogram. Oscilogramom se prikazuje amplituda ili intenzitet zvuka (na ordinati) kroz vrijeme (na apscisi) (Bakran, 1996). Već takvo jednostavno snimanje, mjerenje duljine i grafički prikaz zvuka predstavlja jednu vrstu akustičke analize. Sredinom 90-ih godina prošloga stoljeća, u laboratorijima Bell Telephone, projektom kojim se telefonski prijenos zvuka htio omogućiti i gluhim osobama na način da se zvuk prikaže spektralno, odnosno da se govor može 'pročitati' vizualno, stvoren je spektrograf. Iako se na taj način nije mogao prikazati povezan govor, sudionici eksperimenta, od kojih i oni s teškom nagluhošću, mogli su prepoznati oko 350 riječi. Od tada je spektrograf jedan od glavnih alata fonetičara u analizi zvuka (Bakran, 1996). Spektrografska analiza omogućuje obradu signala širokog spektra u realnom vremenu. Spektrograf propušta zvuk kroz niz filtara te ga zatim prikazuje u grafičkom obliku – spektrogramu. Spektrogram je trodimenzionalni prikaz zvuka gdje je na apscisi prikazano vrijeme, na ordinati frekvencijski raspon, a na trećoj dimenziji prikazuju se intenziteti snimljenih komponenata u obliku zacrnjenja na bijeloj pozadini. Spektrogramom se mogu prikazati svi oblici zvukova – periodični, aperiodični i šumovi, te tišina, dakle sve od čega se sastoji ljudski govor. Promjene na spektrogramu posljedica su promjena oblika i građe vokalnog trakta i izgovornih šupljina i one utječu na promjene frekvencija rezonantnih pojačanja na spektrogramu, odnosno na promjene frekvencija formanata. Formanti su dakle rezonancijske frekvencije vokalnog trakta i označavaju se oznakama F1, F2, F3, ..., dok F0 ili fundamentalna frekvencija označava frekvenciju otvaranja i zatvaranja glasnica (Bakran, 1996). Na frekvencije formanata utječu i spektar pobude i karakteristike prijenosa zvuka od usta do mikrofona (Bakran, 1996). Postoje dvije vrste spektrografske analize – široka i uska. Široka analiza prikazuje laringalne impulse kao posljedice titranja glasnica te rezonantna pojačanja i utišanja zvuka, dok uska analiza prikazuje cjelobrojne umnoške osnovnog tona – harmonike. Harmonici se prikazuju u obliku linija koje su međusobno jednako razmaknute za frekvenciju osnovnog tona (Bakran, 1996).

S obzirom da su vokali artikulacijski i akustički stabilni glasovi, već je nekoliko glotalnih pulseva dovoljno za njihovu analizu, a najčešće se opisuju jednostavnim setom deskriptivnih obilježja poput formanata. Već su prva tri formanta dovoljna za trodimenzionalni prikaz vokalskog prostora nekog jezika, a prikaz vokala vrijednostima prva dva formanta najrašireniji je i najpoznatiji način za akustički opis vokala (Kent i Read, 2002). Ovaj rad bavi se upravo time – akustičkim opisom vokala govornika hrvatskog jezika na temelju vrijednosti formanata i varijabilnosti tih formanata koju govornici ostvaruju na temelju svojih biomehaničkih karakteristika i glasničkog konteksta.

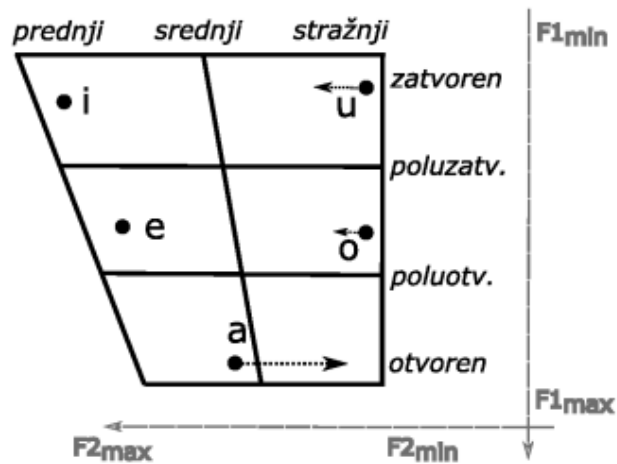
2. Vokali

Vokali nastaju vibracijom glasnica dok govorni trakt, koji se ponaša poput akustičkog filtra, modificira zvuk koji su glasnice stvorile (Johnson, 2003). Za vrijeme izgovora vokala izgovorni se organi i šupljine zadržavaju u određenom položaju, obliku i veličini pa se, za razliku od drugih skupina glasova, vokali na spektrogramu vide kao stabilna stanja formanata. Vokali se razlikuju prema različitim položajima formanata kao posljedice različitog položaja jezika unutar usne šupljine. Vrijednost prvog formanta (F1) ovisna je o pomicanju mase jezika gore-dolje i to na način da što je jezik niže, F1 raste, a vrijednost drugog formanta (F2) ovisna je pomicanju mase jezika naprijed-nazad na način da pomicanjem jezika naprijed vrijednost F2 raste (Horga i Liker, 2016).

Istraživanja sinteze i označavanja koja navode Larkey i sur. (1978) pokazuju da kod percepcije samoglasnika slušatelji slušno integriraju dva spektralna vrha, pa će tako kod prednjih samoglasnika slušatelji integrirati F2 i F3 jer su ta dva formanta frekvencijski bliska. Ispitanici su u spomenutim eksperimentima slušali isti vokal sintetiziran s dva formanta i s četiri formanta, te se od njih tražilo da prilagode F2 sve dok dva vokala ne budu perceptivno jednaka. Rezultati su pokazali da su ispitanici preferirali puno viši F2 kao posljedicu trećeg formanta kod vokala sintetiziranog s više formanata. Syrdal i Gopal (1986) iz tog su razloga predložili F2-F3 za glavni korelat prednjosti-stražnjosti vokala. Bez obzira na to, F2 se tradicionalno uzima kao korelat prednjosti i stražnjosti.

Artikulacijsko-akustički odnos vokalskog sustava najbolje prikazuje vokalski trapez kao ekvivalent vokalskog prostora nekog jezika. Na slici 1 prikazano je pet hrvatskih vokala (/i/, /e/, /a/, /o/, /u/), njihov artikulacijski položaj (prednji-srednji-stražnji, zatvoren-poluzatvoren-poluotvoren-otvoren) i akustičko ponašanje vrijednosti prva dva formanta. Kod izgovora vokala /i/ jezik je u usnoj šupljini položen prema naprijed i visoko zbog čega /i/ ima najnižu frekvenciju prvog formanta, a najvišu drugog formanta. Vokal /e/ je manje prednji, a otvoreniji od /i/ pa mu je prvi formant viših, a drugi nižih vrijednosti. Vokal /a/ je u usporedbi s /i/ i /e/ stražnjiji pa mu je drugi formant nižih vrijednosti, a zato što je najotvoreniji hrvatski vokal ima najviše vrijednosti prvog formanta. Kod izgovora vokala /o/ jezik je nešto više podignut u odnosu na /a/ pa mu je i prvi formant niži, a povlačenje jezika unatrag rezultira niži drugi formant. Vokal /u/ je najstražnjiji hrvatski vokal pa mu je i drugi formant najniži u odnosu na ostale vokale, a zbog zatvorenosti, odnosno visokog položaja jezika, vrijednosti prvog formanta su niske (Horga i Liker, 2016). Recentna ultrazvučna istraživanja artikulacije i koartikulacije hrvatskoga vokalskog sustava (Carović, 2014) pokazuju mogući pomak

artikulacije hrvatskih vokala. Rezultati istraživanja pokazali su kako se jezik kod izgovora vokala /a/ povlači više nazad nego što je to prikazano vokalskim trapezom pa je /a/ stražnjiji poput /o/, a kod vokala /u/ je jezik više povučen naprijed što ga čini više prednjim od vokala /a/ i /o/. Takvi mogući pomaci u artikulaciji hrvatskih vokala prikazani su strelicama unutar trapeza.



Slika 1. Vokalski trapez hrvatskog standardnog govora (Horga i Liker, 2016, prema Landau i sur., 1999).

Budući da na frekvencijske vrijednosti formanata utječu oblik i građa vokalnog trakta i izgovornih šupljina, zbog anatomskih razlika potrebno je zasebno analizirati vrijednosti formanata muških i ženskih govornika i djece. Bakran (1996) donosi prosječne frekvencije prva tri formanta hrvatskog standardnog govora izmjerene na uzorku od 17 odraslih muškaraca (tablica 1), 7 odraslih žena (tablica 2) te 21 dijete u dobi od 7 do 11 godina (tablica 3). Bakran (1996) također napominje kako se F3 rijetko opisuje i analizira u istraživanjima zbog sličnog kretanja kao F2.

Tablica 1. Prosječne frekvencije formanata odraslih muških govornika hrvatskog standardnog govora (Bakran, 1996).

	/i/	/e/	/a/	/o/	/u/
F1	282	471	664	482	324
F2	2192	1848	1183	850	717
F3	2713	2456	2433	2472	2544

Tablica 2. Prosječne frekvencije formanata odraslih ženskih govornika hrvatskog standardnog govora (Bakran, 1996).

	/i/	/e/	/a/	/o/	/u/
F1	302	493	884	576	353
F2	2623	2360	1393	980	758
F3	3246	2930	2709	2776	2764

Tablica 3. Prosječne frekvencije formanata djece, govornika hrvatskog standardnog govora (Bakran, 1996).

	/i/	/e/	/a/	/o/	/u/
F1	375	500	984	585	463
F2	3033	2569	1581	1095	962
F3	3487	3255	3024	2173	3224

Trajanje vokala je nakon frekvencije formanata i spektralnog oblika treći parametar za akustičku analizu vokala. Iako je trajanje često zanemareno u tradicionalnom prikazu vokala (F1-F2), ono je uvijek dostupno u snimljenom govoru i često se koristi kao vokalska značajka. Kent i Read (2002) navode neke od faktora koji utječu na trajanje vokala – karakteristike vokala, visina vokala, naglasak sloga, brzina govora, zvučnost prethodnog ili sljedećeg konsonanta, mjesto artikulacije prethodnog ili sljedećeg konsonanta te razni sintaktički i semantički čimbenici poput poznavanja riječi, i dr. Bakran (1996) govori o inherentnom trajanju segmenta kao trajanju koje je uvjetovano isključivo fonetskim osobinama te ono utječe na konkretna mjerenja segmenata. Inherentno trajanje vokala povezano je s artikulacijskim osobinama vokala (položaj i oblik jezika i usana, otvor vilice) te konsonantskom okolinom koja okružuje vokal. Osim utjecaja na formante vokala, konsonanti koji okružuju vokale utječu i na trajanje zbog položaja artikulatora, odnosno udaljenosti položaja izgovora između vokala i konsonanta.

Tablica 4 prikazuje trajanje vokala u različitim naglasnim uvjetima – 1) vokal pod kratkim naglaskom u povezanom govoru, 2) vokal pod dugim naglaskom u povezanom govoru, 3) kratki nenaglašeni vokal u povezanom govoru, 4) kratki nenaglašeni vokal u dvosložnim izoliranim riječima i 5) kratki naglašeni vokal u dvosložnim izoliranim riječima. Sve vrijednosti trajanja vokala iskazane su u milisekundama.

Tablica 4. Trajanje vokala u različitim naglasnim uvjetima (Bakran, 1996).

uvjeti mjerenja	/i/	/e/	/a/	/o/	/u/
1	57	67	77	74	62
2	77	86	106	89	76
3	49	53	61	54	50
4	98	124	129	118	92
5	111	127	135	126	110

Prema podacima iz tablice 4, najduže inherentno trajanje ima vokal /a/ i to u svim naglasnim uvjetima, dok najkraća inherentna trajanja imaju vokali /i/ i /u/. To je zato što je /a/ najotvoreniji vokal te je u izgovoru jezik udaljeniji od nepca zbog čega se artikulacijski položaj za /a/ nalazi dalje od artikulacije susjednog konsonanta. S druge strane, /i/ i /u/ su zatvoreni vokali kod kojih je u izgovoru jezik podignut i bliži nepcu te su zbog toga bliži konsonantskoj artikulaciji. Udaljenost artikulacijskog položaja vokala i položaja konsonanta važna je zbog govornog pokreta čija je brzina konstantna, pa će udaljeniji položaji zahtijevati dulje trajanje pokreta između vokala i konsonanta (Bakran, 1996). Trajanje vokala samo po sebi nije dovoljno za identifikaciju pojedinačnog vokala, ali može pomoći slušatelju da razlikuje spektralno slične vokale (Kent i Read, 2002) ili može služiti kao sredstvo opisa kvalitete vokala (Bakran, 1996).

3. Varijabilnost – biomehanička i koartikulacijska

Osnovna karakteristika govorne proizvodnje je varijabilnost. Liker, Horga i Šafarić (2008) navode kako je varijabilnost međujezična i unutarjezična te međugovornička i unutargovornička. Varijabilnost govora je sveprisutna i neizbježna u izgovoru pa su istraživanja varijabilnosti proizvodnje govora središnja tema proučavanja fonetike. Bakran (1996) objašnjava kako fonološki u jeziku postoji ograničen broj glasova, ali fonetsko-akustički u jednom jeziku broj glasova je beskonačan zbog različitih ostvaraja koja ovise o kontekstu i biomehaničkim karakteristikama govornika. U percepciji govora, važan dio informacija potreban za identifikaciju glasova izvlači se izvan konvencionalnih granica segmenata (Kent i Read, 2002). Varijabilnost nema negativnih učinaka na identifikaciju glasova pa govornici nisu svjesni da se pokreti artikulatora preklapaju u vremenu i međusobno djeluju jedni na druge. Kao posljedica toga, vokalni je trakt u svakom trenutku

pod utjecajem više od jednog segmenta (Farnetani i Recasens, 2010). Ta se pojava naziva koartikulacijom – sposobnost govornog sustava da se prilagodi zahtjevima artikulatora za istovremeni izgovor više različitih glasova (Horga i Liker, 2016). Svaki govornik posjeduje govorni sustav s određenim brojem jedinica, ali su varijante izgovora tih jedinica beskonačne. Pretpostavka o mogućnosti postojanja sustava koji obuhvaća sve varijante izgovora svih fonemskih jedinica nekog jezika značila bi da je pojam koartikulacije neproduktivan jer ne bi postojala varijanta izgovora koja već nije obuhvaćena tim sustavom. Pretpostavka o stabilnim stanjima glasova koja se uvijek postižu u govoru opovrgnuta je 1933. godine kada su Menzerath i de Lacerda uvidjeli da ne mogu odrediti točne granice glasova i na taj način ih razdvojiti od onih koji im prethode ili ih slijede (Horga i Liker, 2016). Isti vokal nikada ne može postići isti oblik, što zbog različitog konteksta i utjecaja drugih različitih glasova, ali niti onda kada se glas ponavlja u istom kontekstu kod istog govornika. Razlog tomu je što se kod izgovora nekog vokala ne postiže neki univerzalni položaj jezika specifičan baš za taj vokal, već se vokali međusobno samo mogu razlikovati prema položaju jezika unutar usne šupljine. Na primjer, možemo reći da su kod izgovora vokala /e/ leđa jezika podignuta u odnosu na vokal /a/. Međutim, pri izgovoru vokala /e/ ne mora uvijek cijeli jezik biti jednako aktivan što će utjecati na izgled vokala. Na taj način se kod istog govornika uvijek javljaju različite varijante istoga vokala jer će se artikulacija svakog puta razlikovati u položaju i angažiranosti jezika i samog položaja usne šupljine. Na temelju dostupnih istraživanja, još uvijek ne postoje dokazi koji bi ukazivali na biomehaničke razlike o kojima bi ovisila varijabilnost vokala. Drugim riječima, individualne razlike u izgovoru postoje, ali one ne otkrivaju koje su to biomehaničke razlike koje utječu na varijabilnost u govoru. Nodilo i Liker (2023) istraživali su snagu i trajanje pivota u vokalima omeđenim frikativom. Iako su očekivanja bila da će pivoti u vokalu /a/ imati veću snagu zbog veće rotacije jezika, te da će duže trajati radi dužine puta koji jezik prolazi od položaja za frikativ do položaja za vokal, podaci nisu pokazali statistički značajne razlike između vokala. Toivonen i sur. (2015) u svojoj su studiji htjeli dokazati da su visoki vokali kraćega trajanja u odnosu na niske. Tvrdili su kako je trajanje vokala jedna od razlikovnih manifestacija vokala i specifična trajanja vokala potječu iz njihovih biomehaničkih karakteristika. Međutim, njihova istraživanja provedena na švedskom i engleskom jeziku pokazala su da dvije različite realizacije istog vokala ne pokazuju tu tendenciju. Vokali unutar istih kategorija (visoki i niski) značajno su mogli varirati u trajanju. Takvo otkriće dovelo je u pitanje ideju da su razlike u trajanju vokala čisto mehaničke prirode te se pretpostavilo da bi fonološki čimbenici također mogli utjecati na trajanje.

Postoji mnogo različitih definicija i pogleda na koartikulaciju koje mogu biti više ili manje kompatibilne, ali sve uključuju ideju o artikulacijskim segmentima koji se na neki način mijenjaju, prilagođavaju ili isprepliću u vremenu. Tako Hammarberg (1976) koartikulaciju gleda kao proces pri kojem se svojstva segmenata mijenjaju zbog utjecaja koje na njega vrše susjedni segmenti, dok Laver (1994) govori o koartikulaciji kao prilagodbi ili usklađivanju značajki susjednih segmenata u govoru. Zbog koartikulacije glasovi često mogu izgubiti neke od svojih prepoznatljivih karakteristika, a nerijetko se iz njih mogu iščitati i karakteristike okolnih glasova. Efekti koartikulacije obično nisu čujni pa su fiziološke i akustičke metode istraživanja govora omogućile opis i analizu takvih pojava u govoru (Farnetani i Recasens, 2010).

Dva su smjera širenja koartikulacijskih utjecaja – unaprijed i unazad. Koartikulacija unaprijed ili progresivna koartikulacija pokazuje vremensko širenje koartikulacijskih utjecaja na segmente koji slijede, dok koartikulacija unatrag ili regresivna koartikulacija pokazuje vremensko širenje koartikulacijskih efekata na predhodne segmente (Horga i Liker, 2016). Istraživanja koartikulacije i smjera širenja koartikulacijskih efekata fonetičarima su izrazito važna jer bi dobiveni podaci mogli dati odgovor na ključno pitanje – što je temeljna jedinica govorne proizvodnje? Zasad nijedno istraživanje nije moglo točno odrediti je li koartikulacija odraz jezičnog planiranja ili biomehaničkih ograničenja artikulatora. Moll i Daniloff (1970) u svome su istraživanju otkrili kako se spuštanje mekog nepca kod širenja koartikulacije unazad događa već na prvom vokalu, izvan granica sloga, što je dokaz jezičnog planiranja. Kasnija su istraživanja potvrdila kako je spuštanje mekog nepca u takvim slučajevima jednakog dosega u svim jezicima. Takvi podaci idu u prilog koprodukcijskoj teoriji koja tvrdi da su temeljne jedinice govorne proizvodnje artikulacijske geste jer su geste vremenski specificirane (Farnetani i Recasens, 2010). Međutim, istraživanja o zaokruživanju usana kod širenja koartikulacijskih utjecaja zaokruženog glasnika pokazala su da takav koartikulacijski utjecaj može biti raznih vremenskih dosega u različitim jezicima, što se ne podudara s teorijom o artikulacijskim gestama jer su geste uvijek specifičnog trajanja (Horga i Liker, 2016). Prema tome, dva su suprotna stajališta o uzroku koartikulacije. Pretpostavka o biomehaničkom uzroku govori kako koartikulacija nastaje zbog karakteristika izgovornog aparata, odnosno da su koartikulacijski procesi univerzalni za sve jezike jer je i ljudska biomehanika univerzalna. S druge strane, pretpostavka je da koartikulacija ovisi o konkretnim fonološkim pravilima nekog jezika, odnosno da se koartikulacijski procesi razlikuju od jezika do jezika. Mnogo je teorija o uzroku koartikulacije, a Horga i Liker (2016) navode samo neke od njih – koartikulacija kao odraz jezične ekonomičnosti, koartikulacija kao proces širenja fonoloških

obilježja, koprodukcijaska teorija. Jedna od teorija koja tvrdi da se uzroci koartikulacije mogu pronaći u fonološkim pravilima određenog jezika upravo je koprodukcijaska teorija. Koprodukcijaska teorija govori o koartikulaciji kao koprodukcijaskoj gesti koja nije jedan artikulacijski pokret već planirani pokret većeg broja artikulatora koji žele ostvariti isti cilj (Horga i Liker, 2016). Različiti artikulatori organiziraju se u artikulacijsku gestu te gesta, neovisno o nastalim ometanjima, postiže cilj u govoru kao što je isturenost ili otvorenost usana, različita suženja vrhom ili tijelom jezika, jačina suženja te mekonepčani ili grkljanski otvor. Horga i Liker (2016) navode primjer dvousnenosti u kojoj sudjeluju donja usna, gornja usna i donja čeljust. Koprodukcija ne promatra ta tri artikulatora kao tri individualna pokreta već kao jednu sinergijsku organiziranu gestu koja će ostvariti dodir dviju usana čak i onda kada jedan od artikulatora ne postigne svoj individualni pokret. U slučaju kada donja čeljust bude spriječena u svome podizanju, taj će nedostatak nadoknaditi ostala dva artikulatora i dodir usana će se svejedno dogoditi. Kada to ne bi bilo tako i kada bi ovi artikulatori djelovali individualno, cilj dvousnenosti ne bi bio postignut jer usnice ne bi mogle nadoknaditi nedovoljno djelovanje donje čeljusti. Dakle, temeljne jedinice govorne proizvodnje prema ovoj teoriji su artikulacijske geste. Geste su sinergijski pokreti više artikulatora s jednim ciljem koji su serijski organizirani, dinamički specificirani i neovisni o kontekstu (Horga i Liker, 2016). Prema Farnetani i Recasens (2010) artikulacijske geste implementirane su unutar koordinatnog sustava na temelju funkcionalnih ovisnosti među artikulatorima koji su uključeni u gestu. Takva ograničenja osiguravaju nepromjenjivost fonetskog cilja pa će se smanjeni doprinos jednog artikulatora kompenzirati većom aktivnošću ostalih. Varijabilnost se događa zbog preklapanja gesta koje postavljaju artikulacijske zahtjeve na iste artikulatore kako bi ostvarile svoj cilj. Sukob gesta nije ovisan o kontekstu već o stupnjevima snage. Jače geste potisnuti će slabije geste, a geste sličnih snaga rezultirati će stapanjem dviju gesta. Jake geste pružaju velik koartikulacijski otpor i istovremeno izazivaju jake koartikulacijske pritiske. Farnetani i Recasens (2010) navode eksperimentalna istraživanja koja su pokazala da najveći koartikulacijski otpor pružaju konsonanti koji zahtijevaju jaka suženja, a da su vokali umjereno jaki prema artikulacijskom pritisku. Recasensov (1999) model stupnja artikulacijske angažiranosti (engl. *degree of articulatory constraint model*) je koprodukcijaski teorijski model koji govori o leđima jezika kao artikulatoru koji ima različite stupnjeve artikulacijske angažiranosti, ovisno o njihovoj uključenosti u izvedbu nekog artikulacijskog pokreta. Model pretpostavlja da će između dva glasnika koji podrazumijevaju geste koje koriste isti ili iste artikulatore na različite načine prevladati onaj koji više koristi leđa jezika jer će pružiti veći koartikulacijski otpor, a proporcionalno tome vršiti će i jači koartikulacijski pritisak. Recasen

(1999) kaže kako se kod prednjih vokala poput /i/ leđa jezika istovremeno istežu i podižu pa masa jezika postaje jako ograničena za druge pokrete. Istraživanja na nekoliko jezika (katalonski: Recasens, 1985; nizozemski: Pols, 1977; američki engleski: Stevens i House, 1963, prema: Recasen, 1999) pokazuju kako je iz tog razloga /i/ otporniji na koartikulacijske učinke susjednih konsonanata od većine drugih vokala. S druge strane, leđa jezika nisu toliko angažirana kod izgovora stražnjih vokala, pa će konsonanti koji više koriste leđa jezika vršiti i veći koartikulacijski pritisak na stražnje vokale. Na vokal /a/ najveći pritisak vršit će dentoalveolarni i alveopalatalni konsonanti kod čijih se izgovora leđa jezika istežu i podižu (Gay, 1974, 1977; Recasens, 1991, prema: Recasen, 1999), a zubni, alveolarni, alveopalatalni i palatalni konsonanti najveći koartikulacijski pritisak vršit će nad vokalima /u/ i /o/ zbog istovremenog istežanja leđa jezika i podizanja vrha jezika (Butcher i Weiher, 1976; Kiritani i sur., 1977; Alfonso i Horiguchi, 1987; Recasens, 1991, prema: Recasen, 1999).

S druge strane, teorija o biomehaničkoj uvjetovanosti koartikulacije odgovore o uzroku koartikulacije traži u biomehaničkim karakteristikama govornog aparata čovjeka. Načela koja upravljaju koartikulacijom u ovom su slučaju univerzalna jer je i ljudska biomehanika univerzalna. Daniloff i Hammarberg (1973) protive se ovoj teoriji jer tvrde kako je artikulacija proces u kojem kanonski oblici jedinica govornog kodiranja ulaze u strukturu s anatomskim i neurološkim ograničenjima koja fonološkim kodiranjem transformiraju ulazne kanonske oblike u artikulacijske pokrete. Prema tome, artikulacijski pokret i govorni zvuk izravni su proizvodi namjere na razini plana govora te su neodvojivi. Drugim riječima, pravila koja upravljaju koartikulacijom ne mogu biti biomehanički univerzalna, jer bi s razine plana na razinu izvedbe mogle stizati fiziološki neizvedive naredbe (Horga i Liker, 2016). Moll i Daniloff (1970) u svom su istraživanju pokazali kako u riječima u kojima nazalu prethode jedan ili dva vokala, spuštanje mekog nepca započinje već kod prvog vokala u nizu, odnosno da koartikulacija unatrag može dosegnuti i izvan sloga u kojemu se nalazi nazal što je također potvrda o jezičnom planiranju, a ne o biomehaničkim ograničenjima artikulatora. Istraživanjem su opovrgnuli Kozhevnikov-Chistovichev model koji pretpostavlja da je osnovna jedinica koartikulacije artikulacijski slog tipa CV. Tim modelom pretpostavlja se da su artikulacijske naredbe unutar sloga biomehanički specificirane i da bi prema tome koartikulacijski utjecaji glasova unutar sloga trebali biti minimalni na glasove van toga sloga. Međutim, Zharkova (2017) ipak pronalazi dokaze o biomehaničkoj varijabilnosti u svome istraživanju u kojem su sudjelovala djeca od pet godina i adolescenti. Cilj istraživanja bio je utvrditi prilagođavaju li petogodišnjaci oblik jezika u izgovoru vokala prema sljedećem konsonantu na isti način kao

što to rade djeca starija od 13 godina. Rezultati su pokazali kako mlađa djeca nisu mogla dosljedno prilagođavati oblik jezika nadolazećem konsonantu te je zbog toga varijabilnost u govoru bila veća. Rezultati sugeriraju da su kod mlađe djece tipičnog razvoja koartikulacijski procesi pod jakim utjecajem motoričke kontrole, odnosno koordinirane kontrole jezika i čeljusti. Ograničenja u artikulaciji vokala uzrokovale su otpornost susjednih glasova na koartikulacijske učinke. Zharkova (2017) navodi slične studije (Smith i Zelaznik, 2004; Sadagopan i Smith, 2008) koje su također uočile slabije razvijenu artikulacijsku kontrolu te povećanu varijabilnost u govoru kod mlađe djece. Katz i Bharadwaj (2001) također su se bavili pitanjem ima li koartikulacija jezično-univerzalnu ili jezično partikularnu komponentu te jesu li svojstva koartikulacije univerzalna pa proizlaze iz anatomskih ograničenja vokalskog trakta ili su specifična za jezik i proizlaze iz kognitivnih i lingvističkih mehanizama viših razina. U svom istraživanju analizirali su koartikulaciju mjerenjem položaja jezika tijekom produkcije frikativa kod djece i odraslih. Rezultati su pokazali opsežniju anticipacijsku koartikulaciju kod djece nego kod odraslih, odnosno da sedmogodišnjaci imaju veći vremenski opseg koartikulacije u izgovoru CV slogova nego odrasli. Smith (1995) se bavio ispitivanjem varijabilnosti kod djece od 5 i 11 godina i odraslih. Njegova istraživanja pokazala su različite stupnjeve varijabilnosti kod položaja donje usne u izgovoru frikativa između te tri skupine. S obzirom da se položaj donje usne razlikovao između tri dobne skupine, Smith napominje kako bi se buduća istraživanja biomehaničke varijabilnosti u govoru trebala voditi pitanjem hoće li dijete od 5 godina dostići razinu varijabilnosti djeteta od 11 godina, i hoće li dijete od 11 godina dostići razinu varijabilnosti odraslog čovjeka. Time bi se moglo odgovoriti na probleme koji se javljaju kod govornog razvoja djece, odnosno utvrđivanjem bi se raspona varijabilnosti za različite dobne skupine tipičnog razvoja mogle puno ranije uočiti poteškoće u govornom razvoju djece koje inače ne bi bile primijećene. Zharkova (2017) također tvrdi kako su te informacije važne u kliničkoj praksi kada je u pitanju razvoj koartikulacije u govoru djece tipičnog razvoja jer daju uvid u artikulacijska ograničenja te su takvi podaci relevantni za opis fonetskih karakteristika govora u djetinjstvu i govornom razvoju djeteta i ranom uočavanju atipičnog govora djece. Levak (2021) navodi kako je pravilna koartikulacija usko vezana s boljim razumijevanjem i proizvodnjom govora, dok manjak koartikulacije može ukazivati na probleme u razvoju govora. Koartikulacija je u kliničkom kontekstu važna jer analiziranje koartikulacije vodi do razumijevanja obrazaca govora i identifikacije poremećaja u govoru. Primjerice, analiza efekata koartikulacije može pomoći u procjeni dječje apraksije. Waldstein i Baum (1991) utvrdili su da djeca zdravoga sluha više koartikuliraju u govoru od prelingvalno gluhe djece. Takvi su podaci izrazito važni

za postavljanje kliničke slike i rehabilitacije sluha i govora djece. Međutim, mnogo je izazova u istraživanjima koja uključuju dječji jezik. Akustički, djeca imaju izrazito visoku fundamentalnu frekvenciju koja otežava procjenu formanta konsonanta, dok su i sama istraživanja s mlađom djecom tehnički izazov jer je sakupljanje govornog materijala s točno određenim obrascima govora težak zbog dobi ispitanika.

Sva navedena istraživanja mogu se podijeliti u dvije skupine – istraživanja koja tvrde da je varijabilnost u govoru jezično uvjetovana i ona koja tvrde da je varijabilnost rezultat biomehaničkih ograničenja govornog aparata. Niti jedna od tih teorija još uvijek nije prihvaćena kao jedina točna. I koartikulacija i biomehanika čovjeka utječu na varijabilnost govora, no glavno je pitanje razlikuju li se te dvije vrste varijabilnosti. Ako je odgovor da, buduća će istraživanja varijabilnosti govora trebati pokušati odvojiti koartikulaciju od biomehaničke varijabilnosti jer, ukoliko se proučava opća varijabilnost bez izdvojenih biomehaničkih utjecaja, rezultati istraživanja neće se moći točno pripisati jednome uzroku. Stoga je cilj ovoga istraživanja utvrditi razlikuju li se koartikulacijska i biomehanička varijabilnost u govoru i, ako se razlikuju, koja je varijabilnost izraženija kod ispitanika.

4. Hipoteze i cilj rada

Cilj ovoga rada je analizirati frekvencije formanta kao akustičke korelate varijabilnosti hrvatskih vokala. Svrha takve analize dobivanje je normativnih podataka važnih u kliničkoj i estetskoj primjeni, u testiranjima predviđanja koartikulacijskih modela i teorija te za provjeru gustoće susjedstva (engl. *neighbourhood density theory*) usporedbom sa sličnim podacima za druge jezike (o ovoj temi govore Scarborough i Zellou u istraživanju iz 2013. godine). Glavni je cilj rada ustanoviti utječe li na varijabilnost vokala više konsonantska okolina vokala ili biomehaničke karakteristike govornika, te se na taj način približiti teoriji jednom od već postavljenih koartikulacijskih modela.

Trajanje vokala jedan je od čimbenika koji utječe na stupanj koartikulacije. Dulje trajanje glasa povezano je s povećanom koartikulacijom, dok kraće trajanje glasa dovodi do smanjenja koartikulacijskih efekata (Fowler i Saltzman, 1993). Međutim, ovaj se rad neće baviti akustičkom analizom trajanja vokala i utjecaja na koartikulaciju. Za takvu analizu bilo bi potrebno perceptivno istražiti naglaske, vrste slogova, vrste konsonanta i sve ostalo što bi moglo utjecati na samo trajanje. Ipak, akustički podaci o trajanju vokala iz ovog istraživanja bit će pohranjeni u bazi te dostupni za sva buduća potencijalna istraživanja.

Na temelju prethodno navedenih istraživanja postavljene su tri hipoteze:

1. Budući da ne postoje dokazane biomehaničke razlike koje ukazuju da su neki vokali varijabilniji od drugih, biomehanička varijabilnost bit će jednaka koartikulacijskoj.
2. Prednji vokali će zbog veće angažiranosti jezika biti manje varijabilni od stražnjih.
3. Najmanje varijabilan bit će vokal /i/ zbog najveće angažiranosti leđa jezika.

5. Metoda

5.1. Govorni materijal

Za govorni materijal odabrane su 4 skupine po 5 hrvatskih riječi (ukupno 20 riječi). Za analizu koartikulacijske varijabilnosti vokala bilo je važno postaviti vokale u što sličnije kontekste riječi pa su iz tog razloga sve riječi bile dvosložne i s kratko-silaznim naglaskom na ciljanoj vokalu, a skupine su se međusobno razlikovale prema konsonantskoj okolini vokala koji se analizirao. Konsonantske okoline bile su: 1. bezvučni okluziv /p/ i bezvučni okluziv /t/, 2. bezvučna afrikata /č/ i bezvučni okluziv /p/, 3. bezvučni frikativ /š/ i bezvučni okluziv /p/ i 4. dva bezvučna frikativa /š/. Bezvučni konsonanti izabrani su zbog lakše i preciznije anotacije vokala.

Tablica 5. Popis riječi korištenih u istraživanju.

VOKAL	KONSONANTSKA OKOLINA			
	OKLUZIV - OKLUZIV	AFRIKATA - OKLUZIV	FRIKATIV - OKLUZIV	FRIKATIV - FRIKATIV
/i/	piti	čipka	šipka	šiške
/e/	Petar	čepić	šepat	šesir
/a/	pätka	čäplja	šäpat	šäsav
/o/	pötok	čöpor	šöpat	šöštar
/u/	pütär	čüpa	šüpa	šüşka

Sve su riječi bile ukomponirane u istu rečenicu: 'Ponovi (zadana riječ) još jednom', te je ciljanoj riječi bila označena drugom bojom. Time se htjelo postići da naglasak u rečenici bude upravo na ciljanoj riječi te da sam naglasak te riječi bude pravilan.

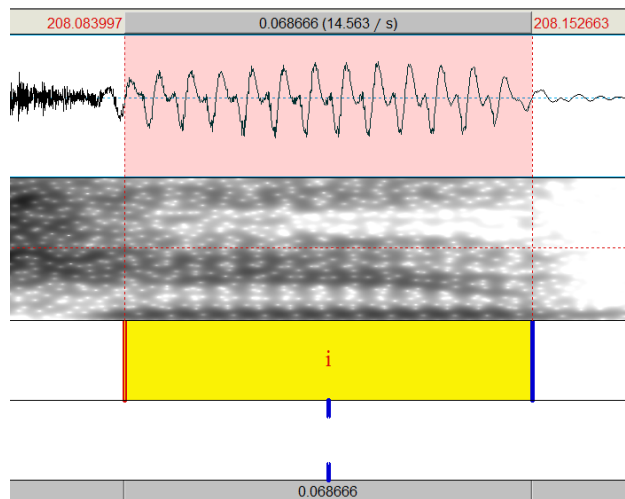
5.2. *Ispitanici i procedura*

U istraživanju je sudjelovalo 15 izvornih govornika hrvatskog jezika u dobi od 19 do 27 godina (prosjeak = 23,13). Svi su ispitanici bili ženskoga spola. Istraživanje je odobrilo Etičko povjerenstvo Odsjeka za fonetiku te su svi ispitanici prije samog snimanja u studiju potpisali suglasnost za sudjelovanje u istraživanju i za korištenje snimljenog govornog materijala u svrhu akustičke analize. Svi podaci o ispitanicima su anonimni i sačuvani pod nasumično generiranim nizom od osam znakova i/ili brojeva.

Akustičko snimanje odvijalo se u Studiju za akustička snimanja na Odsjeku za fonetiku Filozofskog fakulteta u Zagrebu. Ispitanici su prema uputi trebali čitati rečenice silaznom intonacijom s PowerPoint prezentacije. Svaka je rečenica bila prikazana zasebno, a ispitanici su samostalno prelazili na iduću rečenicu pa je tempo govora bio prirodan. Za potrebe ispitivanja biomehaničke varijabilnosti vokala bilo je potrebno snimiti ponavljanja istih riječi kod istog ispitanika, pa je svaka rečenica bila ponovljena tri puta. Govorni materijal svakog ispitanika na kraju je iznosio 60 rečenica.

5.3. *Analiza podataka*

Akustička analiza snimljenog govornog materijala provedena je programom za analizu govora Praat (Boersma i Weenink, 2022). Kako bi se označio položaj vokala unutar zvuka, svakom je zvuku pridodan tekst opcijom *Annotate – To TextGrid*. Unutar *TextGrid*-a postavljene su granice za početak i kraj vokala te je na temelju tih granica označena sredina vokala. Sredina vokala predstavlja najstabilniji dio vokala pa je to bilo mjesto na kojemu su se očitavale akustičke vrijednosti formantata. Kriterij anotacije vokala bio je početak i kraj periodičnosti vidljive na oscilogramu.



Slika 2. Kriterij anotacije vokala na primjeru vokala /i/.

Nakon anotacije korišten je Praat skript kojim su iz označenih sredina vokala očitane vrijednosti prva dva formanta, a oduzimanjem vremena početka vokala od vremena kraja vokala skiptom su dobivene vrijednosti trajanja vokala. Skript je bio podešen tako da pronalazi prvih pet formanata unutar raspona od 5 kHz-a.

U programu Excel za svakog su se ispitanika izračunale prosječne vrijednosti prvog i drugog formanta te se njihov vokalski prostor prikazao grafički vokalskim trapezima. Za svakog su ispitanika formulom standardne devijacije izračunate dvije vrste varijabilnosti za svaki vokal – varijabilnost vokala unutar različitih konsonantskih okolina i varijabilnost vokala unutar ponavljanja istih rečenica (ista konsonantska okolina). Na taj način, za svakog su ispitanika dobivena dva grafa s prosječnim vrijednostima formanata za pet hrvatskih vokala, jedan s prikazom koartikulacijske varijabilnosti vokala, a drugi s prikazom biomehaničke varijabilnosti vokala.

6. Rezultati

6.1. Ispitanik 1

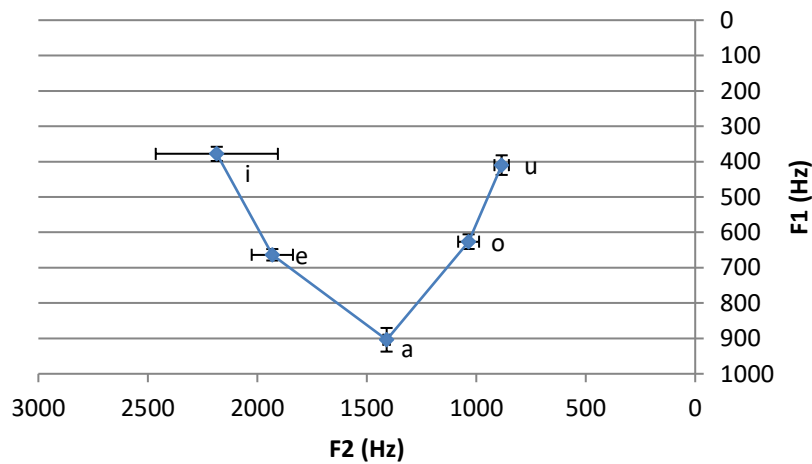
Na slici 3 prikazana je koartikulacijska varijabilnost vokala prvog ispitanika. Koartikulacijski je najvarijabilniji vokal /i/ i to po vrijednostima drugog formanta, dok je varijabilnost prvog formanta minimalna. Manju varijabilnost F2 ostvaruje vokal /e/, dok ostala tri vokala ne ostvaruju izraženiju varijabilnost drugog formanta, odnosno vokali u

različitim konsonantskim okolinama ne odudaraju prema prednjosti i stražnjosti od izračunatih prosječnih vrijednosti. Varijabilnost prvog formanta najuočljivija je kod vokala /a/.

Biomehanička varijabilnost vokala prvog ispitanika (slika 4) gotovo je jednaka koartikulacijskoj s nešto manjom varijabilnošću drugog formanta za vokale /i/ i /e/ te nešto većom varijabilnošću prvog formanta za vokal /i/.

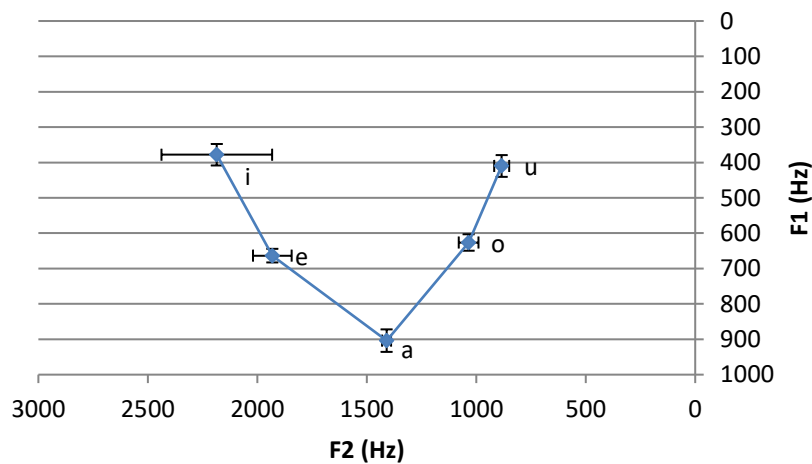
Rezultati koartikulacijske i biomehaničke varijabilnosti vokala prvog ispitanika pokazuju da je varijabilnost izgovora vokala u različitim konsonantskim okolinama kod ovog ispitanika gotovo jednaka onoj kod ponavljanja istih riječi.

Koartikulacijska varijabilnost



Slika 3. Koartikulacijska varijabilnost vokala prvog ispitanika.

Biomehanička varijabilnost

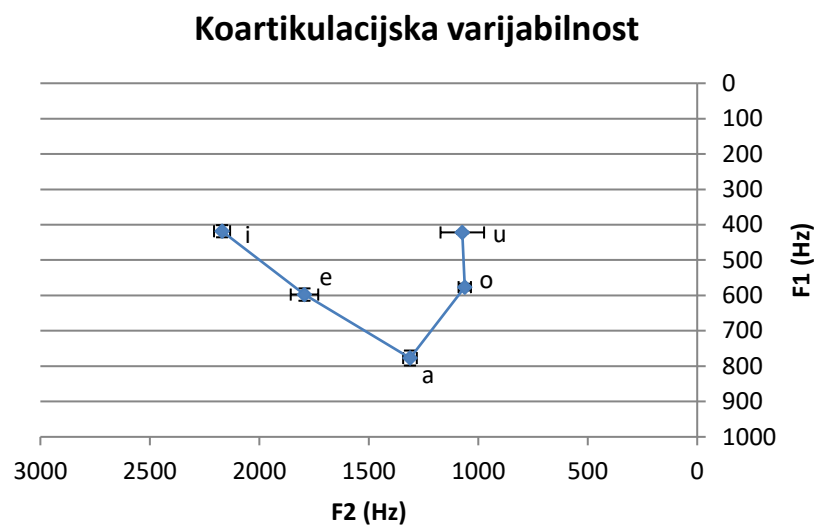


Slika 4. Biomehanička varijabilnost vokala prvog ispitanika.

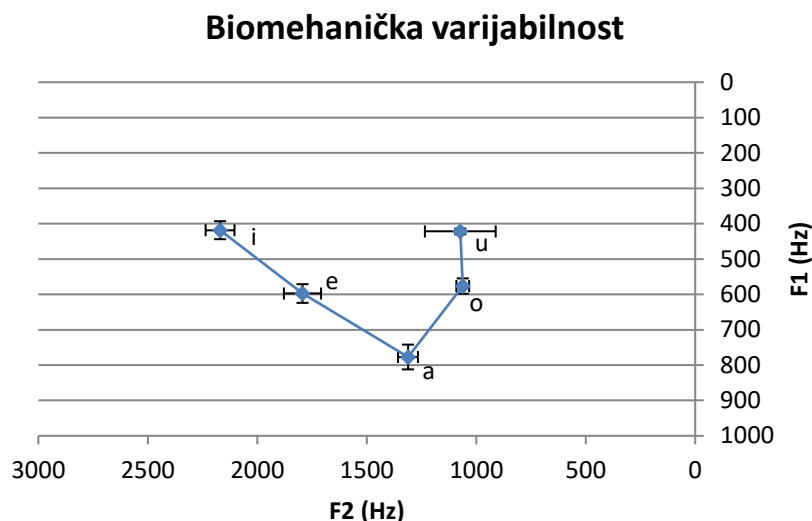
6.2. Ispitanik 2

Najizraženija koartikulacijska varijabilnost drugog ispitanika (slika 5) vidljiva je kod vokala /u/ za vrijednosti F2. Nakon /u/ najveću varijabilnost F2 ostvaruje vokal /e/. Kod ostala tri vokala varijabilnost drugog formanta je minimalna, a isto to se može uočiti za F1 svih pet vokala.

Za razliku od prvog ispitanika, kod drugog ispitanika se mogu uočiti veće razlike između koartikulacijske i biomehaničke varijabilnosti. Najviše varijabilan ostaje F2 vokala /u/ s većim vrijednostima odstupanja u odnosu na koartikulacijsku varijabilnost. U vrijednostima prvog formanta /u/ ostaje stabilan. Vokali /i/, /e/ i /a/ biomehanički su varijabilniji nego koartikulacijski i to u vrijednostima oba formanta. Vokal /o/ ostaje najstabilniji vokal te njegova varijabilnost niti biomehanički nije izraženija, iako je i dalje veća nego u izgovoru vokala u različitim konsonantskim okolinama.



Slika 5. Koartikulacijska varijabilnost vokala drugog ispitanika.



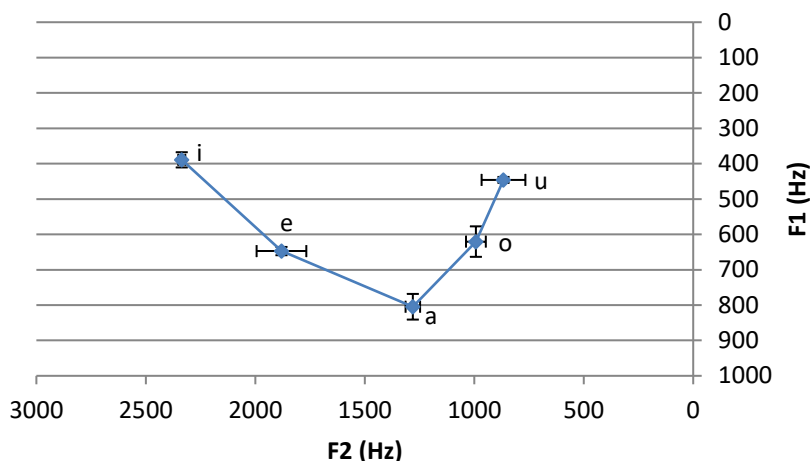
Slika 6. Biomehantička varijabilnost vokala drugog ispitanika.

6.3. Ispitanik 3

Kod trećeg ispitanika vokali /e/ i /u/ koartikulacijski su podjednako varijabilni u vrijednostima F2, dok prema vrijednostima F1 gotovo uopće nisu varijabilni. Vokali /a/ i /o/ ostvaruju manju varijabilnost drugog formanta u odnosu na /e/ i /u/, ali im je varijabilnost F1 izraženija i približnih vrijednosti varijabilnosti F2. Vokal /i/ koartikulacijski nije znatno varijabilan.

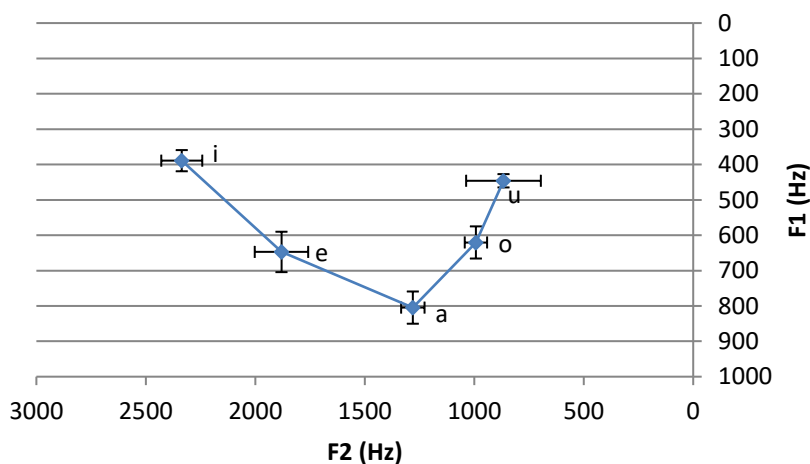
Usporedbom slika 7 i 8 može se uočiti veća biomehantička varijabilnost svih pet vokala u odnosu na koartikulacijsku. Omjeri varijabilnosti vokala /a/ i /o/ isti su na oba grafa, osim što su biomehantička odstupanja veća za oba formanta. Drugi formant vokala /e/ biomehantički je varijabilan kao i koartikulacijski, ali se u ponavljanju istih riječi događaju i veće varijacije u otvorenosti i zatvorenosti vokala. Vokal /u/ je u vrijednostima F2 biomehantički varijabilniji, dok F1 opet ostaje stabilan. Kod vokala /i/ koji je koartikulacijski varijabilan minimalno i vidljive su tek sitne varijabilnosti prvog formanta, biomehantički je više varijabilan i prema otvorenosti-zatvorenosti i prema prednjosti-stražnjosti.

Koartikulacijska varijabilnost



Slika 7. Koartikulacijska varijabilnost vokala trećeg ispitanika.

Biomehanička varijabilnost

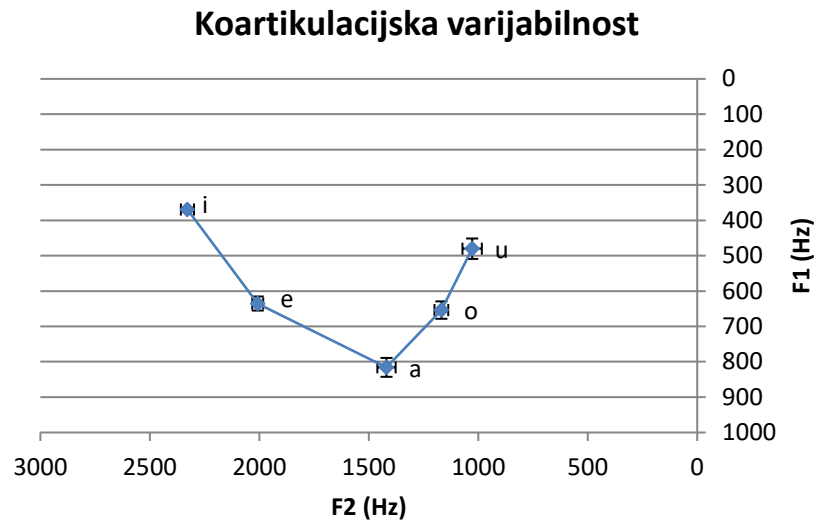


Slika 8. Biomehanička varijabilnost vokala trećeg ispitanika.

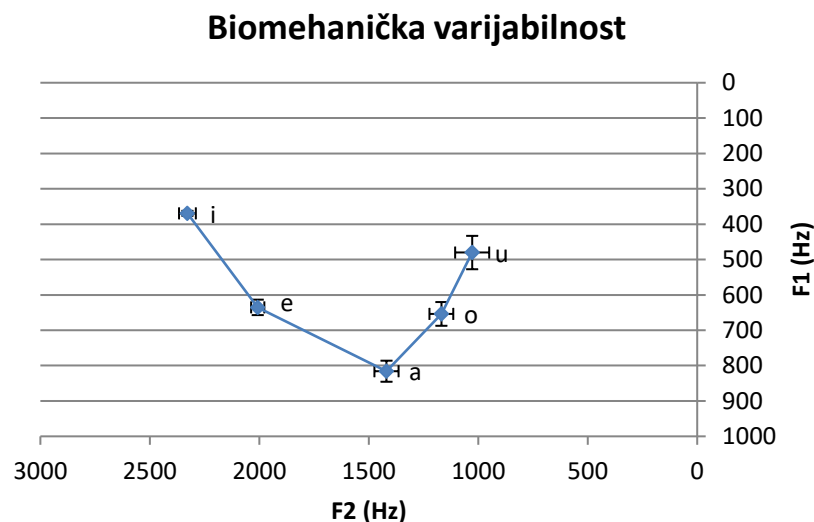
6.4. Ispitanik 4

U različitim konsonantskim okolinama vokali ispitanika 4 ostaju poprilično stabilni. Vidljive su tek nešto veće varijabilnosti vokala /a/, /o/ i /u/ i to podjednako za oba formanta. Biomehanička varijabilnost /i/ i /e/ skoro je identična koartikulacijskoj i ta dva vokala također minimalno variraju u ponavljanju istih riječi, dok je varijabilnost za /a/, /o/ i /u/ u odnosu na koartikulacijsku veća za oba formanta.

Može se zaključiti da ispitanik 4 ostvaruje minimalne varijabilnosti u izgovoru vokala i unutar različitih konsonantskih skupina i u ponavljanju istih riječi, ali je biomehanička varijabilnost ipak nešto veća.



Slika 9. Koartikulacijska varijabilnost vokala /a/ 4. ispitanika.



Slika 10. Biomehanička varijabilnost vokala /a/ 4. ispitanika.

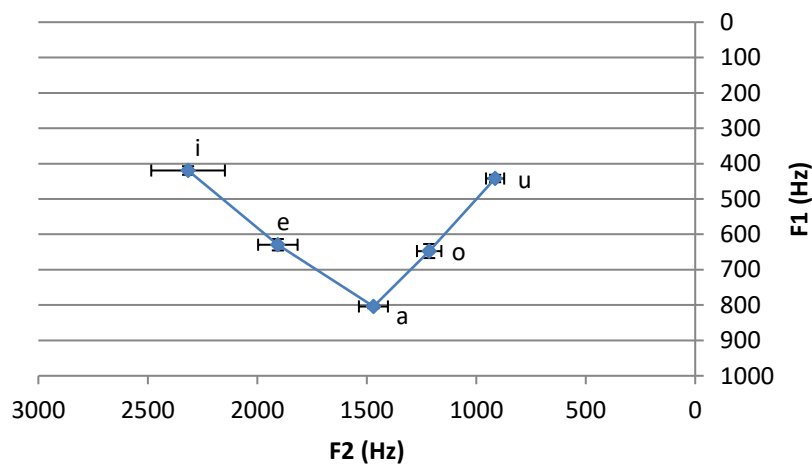
6.5. Ispitanik 5

Kod 5. ispitanika zanimljivo je promatrati varijabilnost drugog formanta u odnosu na poprilično stabilan prvi formant i unutar različitih konsonantskih skupina i u ponavljanjima istih riječi. Koartikulacijski svih pet vokala ostvaruju varijabilnost drugog formanta, a najviše vokal /i/ koji može poprilično varirati u prednjosti i stražnjosti u različitim konsonantskim

okolinama. Vokali /e/, /a/ i /o/ ostvaruju nešto manju varijabilnost F2, a vokal /u/ najmanju. Prvi formant svih pet vokala nije izraženije varijabilan.

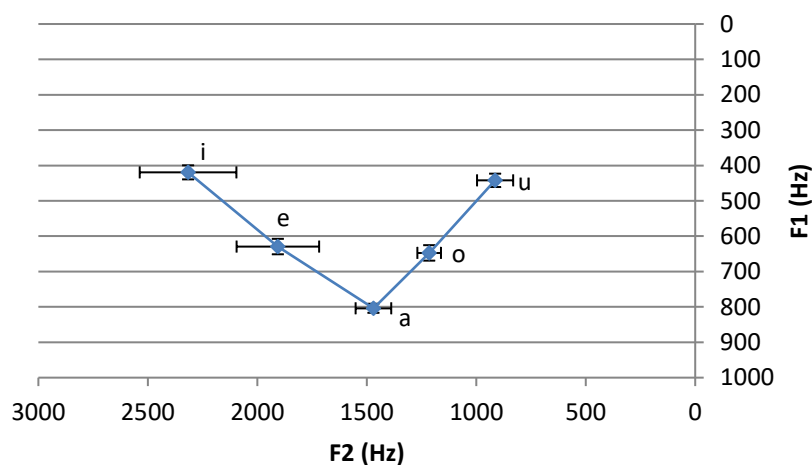
Biomehanički je ponovno najvarijabilniji F2 vokala /i/ i to dosta više nego koartikulacijski, a sličan njemu je i /e/ koji je u više ponavljanja istih riječi poprilično varijabilan u prednjosti i stražnjosti, pa u nekim slučajevima postaje prednji poput /i/. Vokali /a/ i /o/ su koartikulacijski i biomehanički varijabilni jednako, dok se kod vokala /u/ ponovno vidi veća mogućnost biomehaničke varijabilnosti F2 u odnosu na koartikulacijsku. Biomehanička varijabilnost prvog formanta svih pet vokala također je minimalna kao kod koartikulacijske te nema vidljivih većih razlika usporedbom dva grafa.

Koartikulacijska varijabilnost



Slika 11. Koartikulacijska varijabilnost vokala 5. ispitanika.

Biomehanička varijabilnost

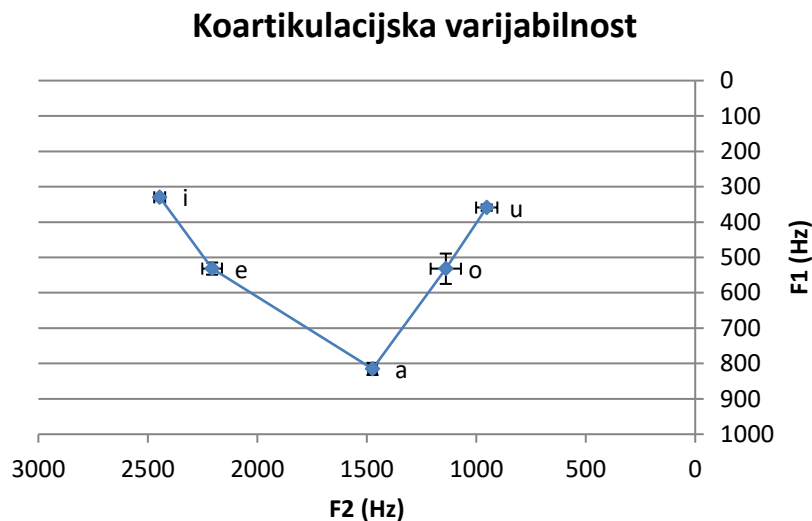


Slika 12. Biomehanička varijabilnost vokala 5. ispitanika.

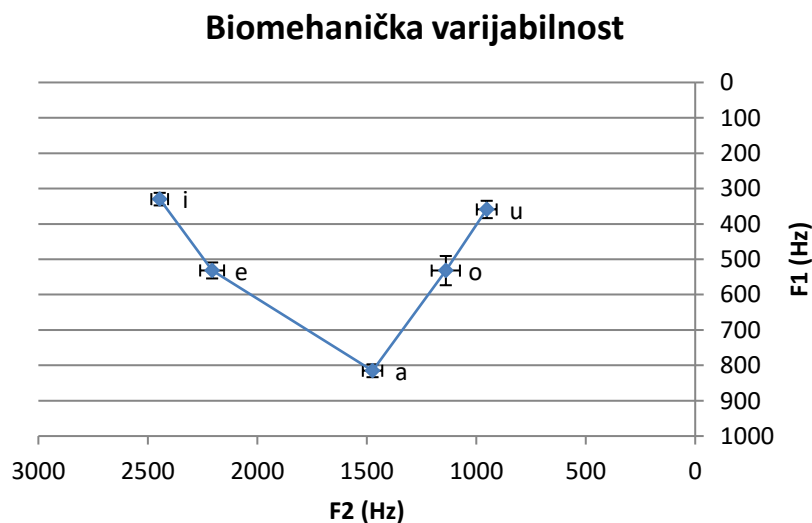
6.6. Ispitanik 6

Kod ispitanika 6 koartikulacijski je najvarijabilniji vokal /o/ i to u oba formanta podjednako. Varijabilnost ostalih vokala je minimalna. Tek mala varijabilnost F2 vidljiva je kod vokala /e/ i /u/, ali možemo reći kako ispitanik 6 ne ostvaruje veliku varijabilnost u govoru izgovarajući vokale u različitim konsonantskim skupinama.

Biomehanička varijabilnost ipak je nešto veća u usporedbi s koartikulacijskoj. Zanimljivo je što se veća varijabilnost može dobro primijetiti za vokale /i/, /e/, /a/ i /u/, dok vokal /o/ koji je koartikulacijski najvarijabilniji, biomehanički ostaje jednako varijabilan. Dakle, pomak u varijabilnosti vidljiv je kod svih vokala za oba formanta, osim kod /e/ koji je uvijek jednako varijabilan.



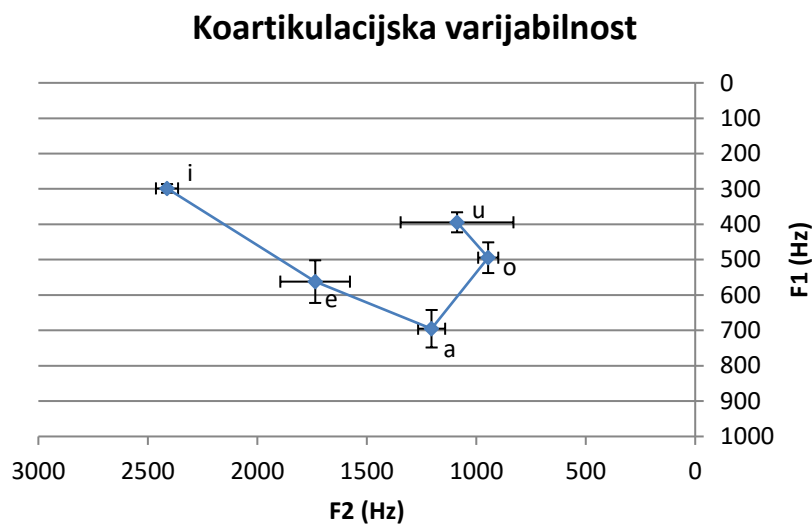
Slika 13. Koartikulacijska varijabilnost vokala 6. ispitanika.



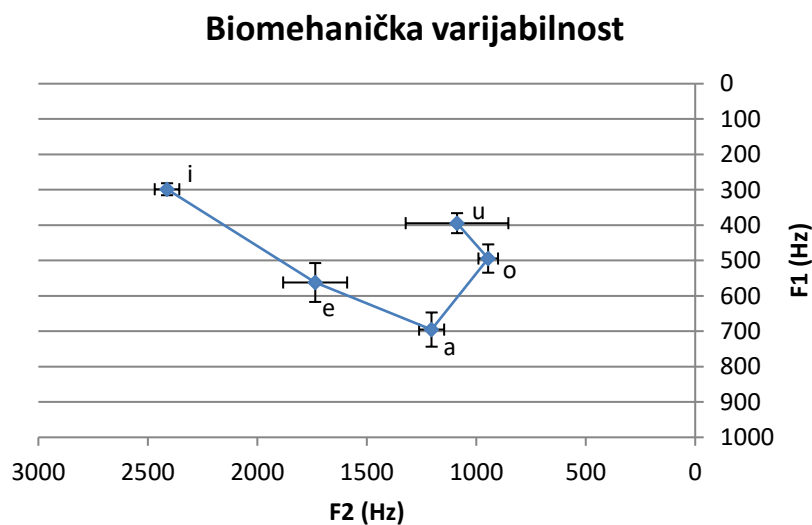
Slika 14. Biomehanička varijabilnost vokala 6. ispitanika.

6.7. Ispitanik 7

Koartikulacijska i biomehanička varijabilnost vokala kod ispitanika 7 su gotovo identične. Također, zanimljivo je kako su svi vokali osim /i/ jako varijabilni, dok je /i/ stabilan i minimalno varijabilan u govoru. Vokali /e/, /a/ i /o/ varijabilni su u oba formanta, /a/ i /o/ više u F1, a /e/ u oba formanta i više od druga dva vokala. Vokal /u/ najvarijabilniji je u F2 i najviše od ostalih vokala te u nekim kontekstima i ponavljanjima može postati prednjiji od /a/.



Slika 15. Koartikulacijska varijabilnost vokala 7. ispitanika.

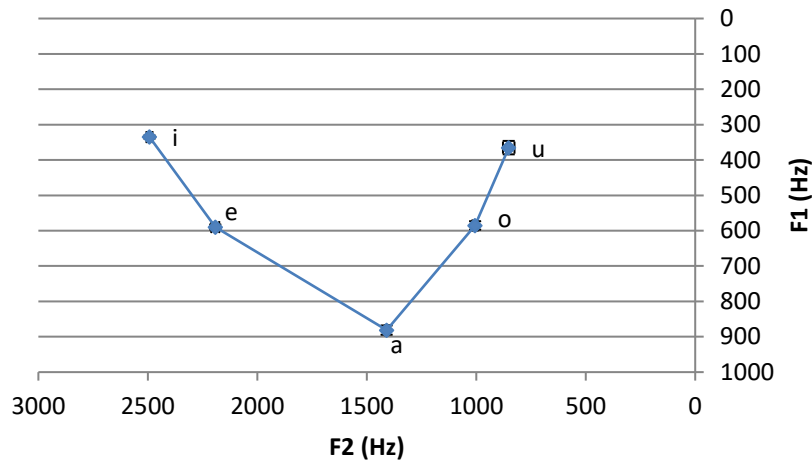


Slika 16. Biomehanička varijabilnost vokala 7. ispitanika.

6.8. Ispitanik 8

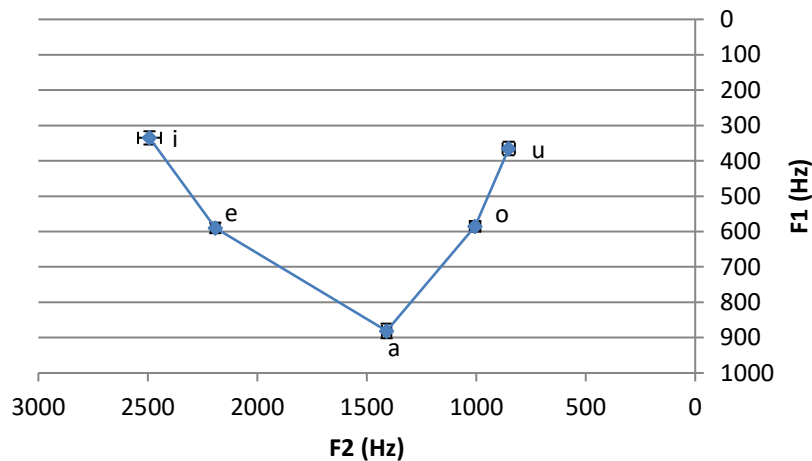
Vokali ispitanika 8 su stabilni te ne odudaraju od prosječnih vrijednosti niti unutar različitih konsonantskih okolina niti u ponavljanjima istih riječi. Jedini pomak koji može presuditi u prilog biomehaničke varijabilnosti je vokal /i/ kod kojega se ipak vidi nešto veća biomehanička varijabilnost u usporedbi s koartikulacijskom.

Koartikulacijska varijabilnost



Slika 17. Koartikulacijska varijabilnost vokala 8. ispitanika.

Biomehanička varijabilnost

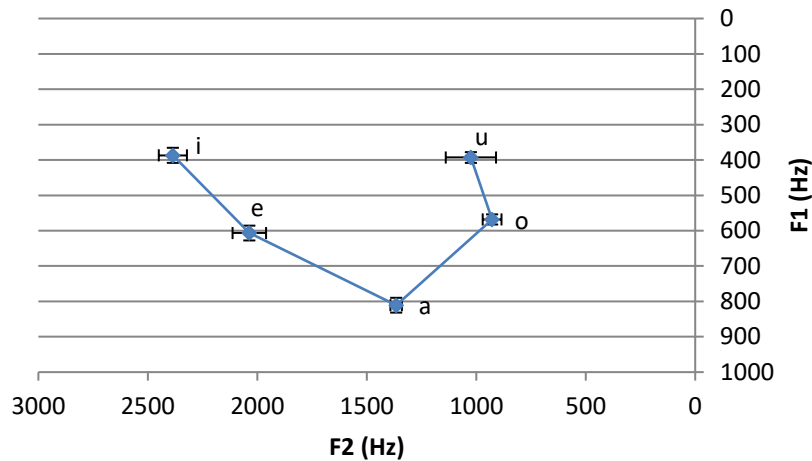


Slika 18. Biomehanička varijabilnost vokala 8. ispitanika.

6.9. Ispitanik 9

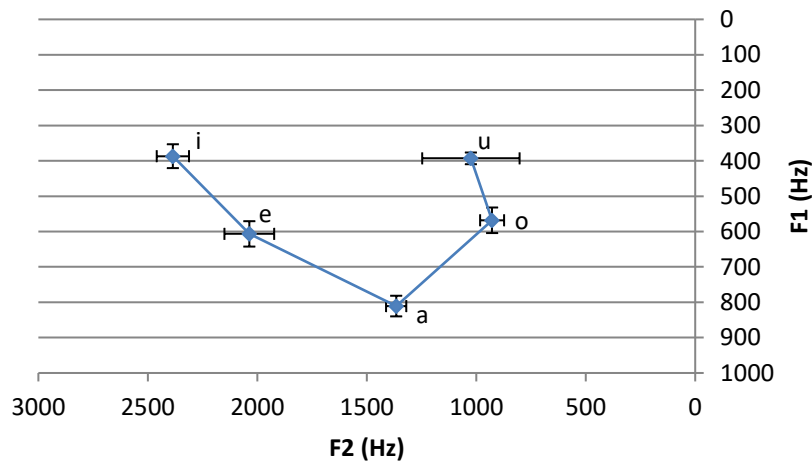
Ispitanik 9 ostvaruje varijabilnost vokala /i/, /e/ i /u/ i to uglavnom u drugom formantu, a /a/ i /o/ kod ovog ispitanika koartikulacijski su varijabilni minimalno. Biomehanički se varijabilnost svih vokala povećava. Kod /i/ i /e/ zamjetna su veća odstupanja u oba formanta, a /a/ i /o/ su također očitije varijabilni u oba formanta. Najveći pomak u varijabilnosti događa se kod /u/ i to u F2, te on prema prednjosti može postati kao /a/ i /o/. Prvi formant kod /u/ ostaje minimalno varijabilan i biomehanički.

Koartikulacijska varijabilnost



Slika 19. Koartikulacijska varijabilnost vokala 9. ispitanika.

Biomehanička varijabilnost



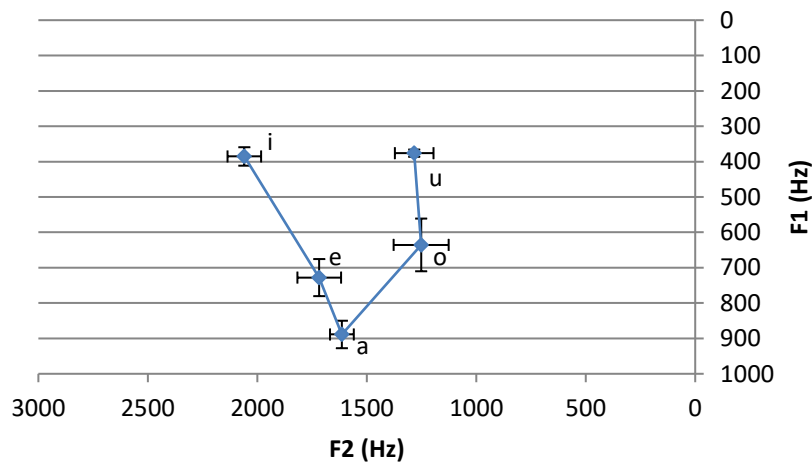
Slika 20. Biomehanička varijabilnost vokala 9. ispitanika.

6.10. Ispitanik 10

Na slikama 20 i 21 može se uočiti kako ispitanik 10 ima jaku i koartikulacijsku i biomehaničku varijabilnost vokala. To je zanimljivo jer je vokalski prostor ispitanika dobiven iz prosječnih vrijednosti dosta uzak, ali vokali svejedno mogu dosta odstupati. Koartikulacijski najvarijabilniji su /e/ i /o/ u oba formanta, slijede ih /i/ i /a/ koji su također podjednako varijabilni u oba formanta, ali nešto manje od prošla dva vokala. Vokal /u/ u F2 varijabilan je poput /i/, dok u F1 ne ostvaruje izraženiju varijabilnost.

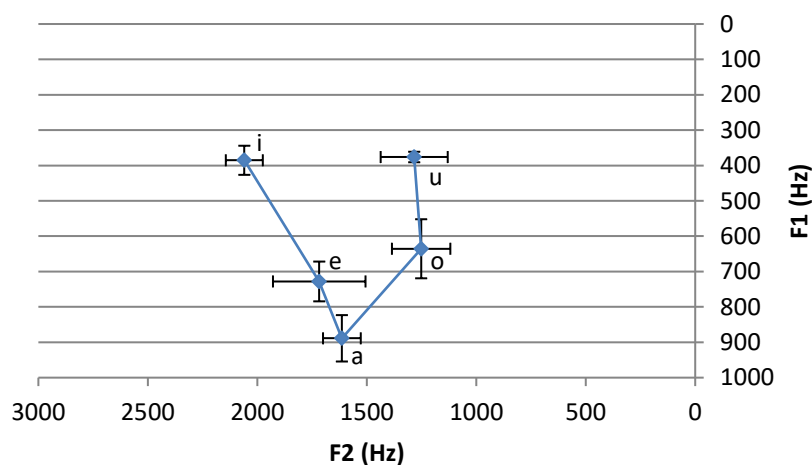
Biomehanički, svi su vokali povećali varijabilnost u istom omjeru usporedno s koartikulacijskom. Iznimka je samo /e/ koji je biomehanički izraženije varijabilan u F2 i najviše od svih pet vokala.

Koartikulacijska varijabilnost



Slika 21. Koartikulacijska varijabilnost vokala 10. ispitanika.

Biomehanička varijabilnost

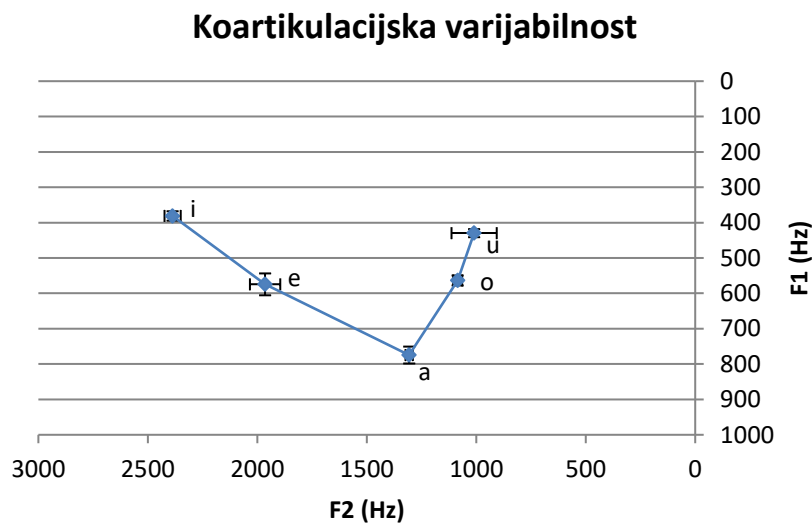


Slika 22. Biomehanička varijabilnost vokala 10. ispitanika.

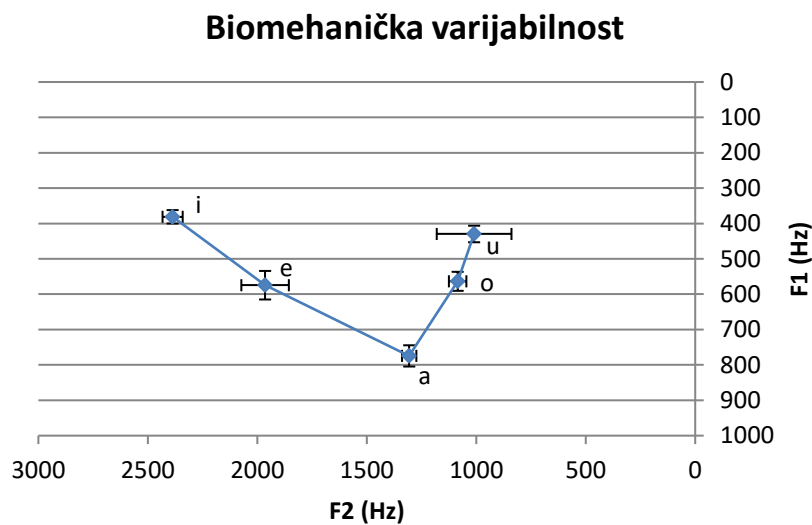
6.11. Ispitanik 11

Kod ispitanika 11 najviše su koartikulacijski varijabilni vokali /e/ i /u/. Vokal /e/ u različitim konsonantskim okolinama može malo varirati u oba formanta, dok vokal /u/ ostvaruje varijabilnost samo u F2, a F1 mu je stabilan. Ostala tri vokala nisu izraženije varijabilna.

S druge strane, biomehanička varijabilnost je veća. Varijabilnost oba formanta kod /e/ i F2 kod /u/ veća je u odnosu na koartikulacijsku, a povećava se i varijabilnost /i/, /a/ i /o/ iako su oni i dalje slabije varijabilni.



Slika 23. Koartikulacijska varijabilnost vokala 11. ispitanika.

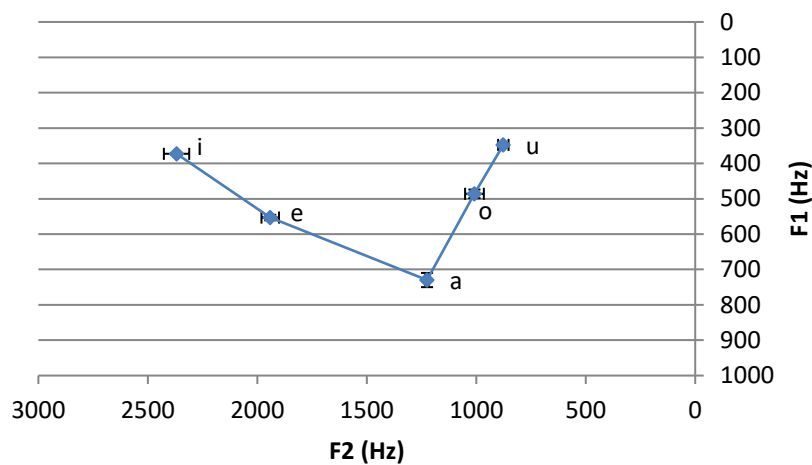


Slika 24. Biomehanička varijabilnost vokala 11. ispitanika.

6.12. Ispitanik 12

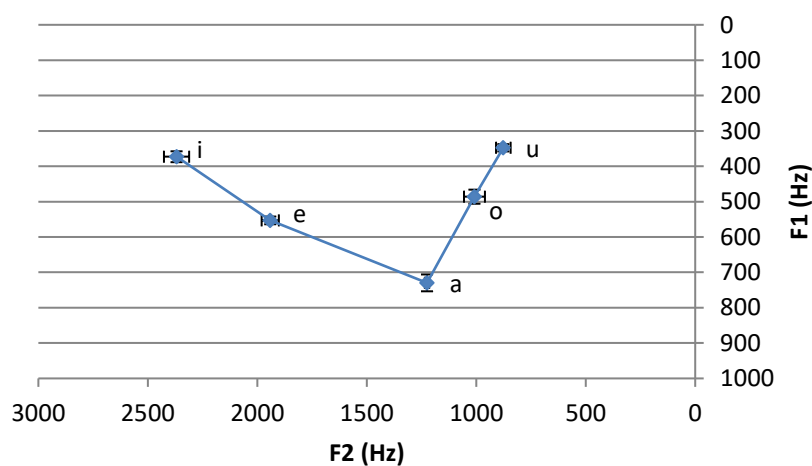
Koartikulacijska varijabilnost i biomehanička varijabilnost ispitanika 12 slabe su i gotovo jednake. Na oba grafa (slike 25 i 26) vidljive su tek sitne varijabilnosti vokala u vrijednostima drugog formanta, osim kod /a/ koji je varijabilan u F1, dok drugi formant uopće nije varijabilan. Proučavanjem izračunatih standardnih derivacija može se zaključiti kako je ovaj ispitanik ipak nešto varijabilniji biomehanički jer prvi formant koji je koartikulacijski u potpunosti stabilan, biomehanički ipak ima male varijacije kod vokala /i/, /e/, /o/ i /u/.

Koartikulacijska varijabilnost



Slika 25. Koartikulacijska varijabilnost vokala 12. ispitanika.

Biomehanička varijabilnost

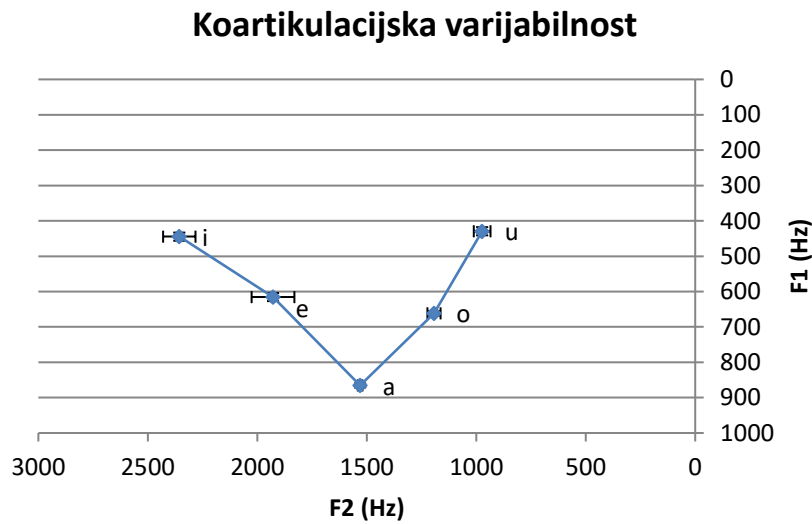


Slika 26. Biomehanička varijabilnost vokala 12. ispitanika.

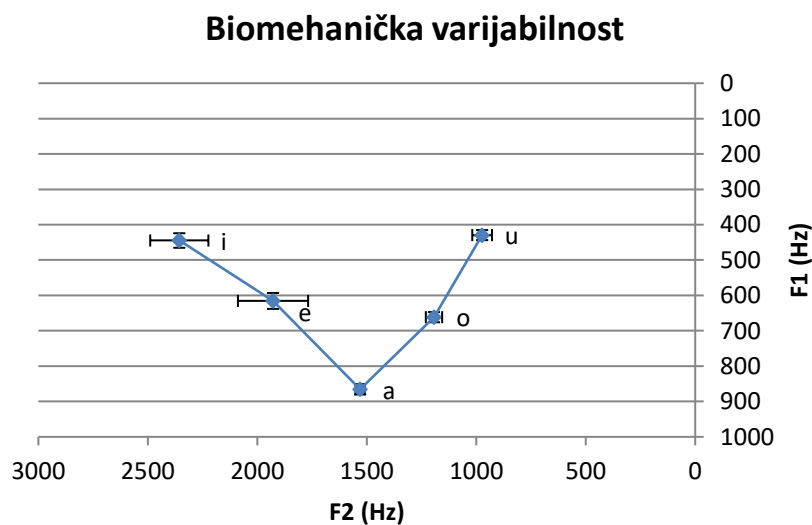
6.13. Ispitanik 13

Kod ispitanika 13 koartikulacijska varijabilnost očituje se samo u F2, najviše za /i/ i /e/, dok kod /o/ i /u/ te varijabilnosti nisu izraženije. Vokali gotovo uopće nisu varijabilni u vrijednostima F1, a vokal /a/ gotovo je u potpunosti stabilan.

Biomehanički, /i/ i /e/ su ponovno najvarijabilniji i to više nego koartikulacijski, /u/ i /o/ ostvaruju jednaku varijabilnost u F2 kao koartikulacijski, a jednako tako se povećava i varijabilnost F1. /a/ i dalje ostaje najstabilniji vokal u sustavu s najmanjim odstupanjima od prosječnih vrijednosti. Biomehanički je /a/ tek nešto varijabilan u vrijednostima prvog formanta.



Slika 27. Koartikulacijska varijabilnost vokala 13. ispitanika.



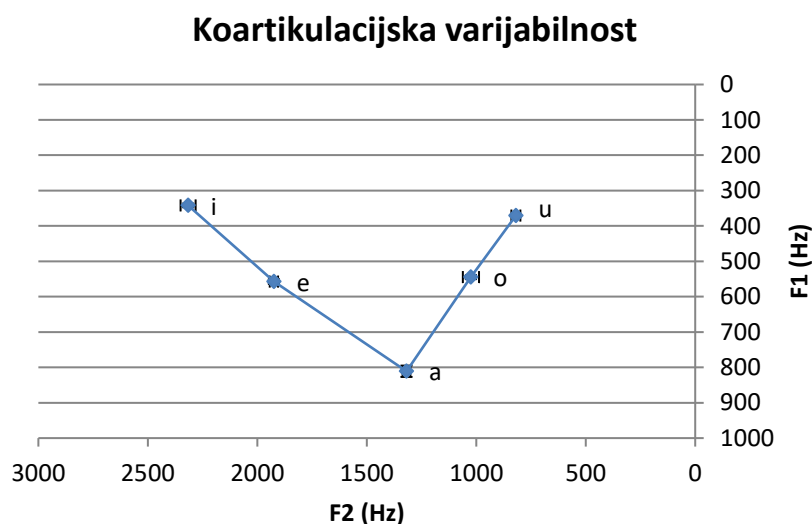
Slika 28. Biomehanička varijabilnost vokala 13. ispitanika.

6.14. Ispitanik 14

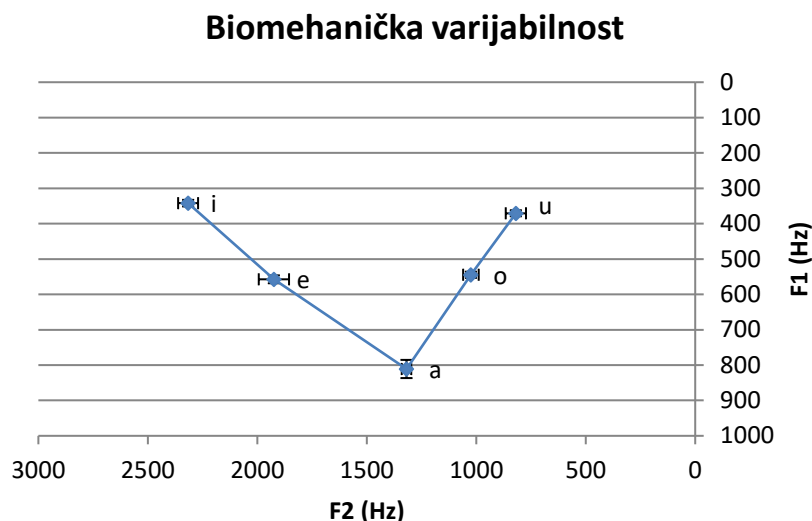
Za ispitanika 14 karakteristična je mala varijabilnost (koartikulacijska i biomehanička) svih vokala. Koartikulacijski niti jedan vokal ne ostvaruje prevladavajuću varijabilnost. Sitni pomaci vidljivi su za F1 vokala /a/ i F2 /i/, /o/ i /u/. Vokal /e/ najstabilniji je vokal u sustavu.

Biomehanička varijabilnost nešto je veća od koartikulacijske i to se može uočiti za sve vokale. Vokali /i/, /e/, /o/ i /u/ varijabilnost ostvaruju najviše u drugom formantu, a vokal /a/ u prvom formantu.

Kod ispitanika 14 najzanimljivije je što vokal /e/ koji u različitim konsonantskim okolinama ostvaruje najmanju varijabilnost u odnosu na druge vokale, u ponavljanju istih riječi ostvaruje najveću varijabilnost.



Slika 29. Koartikulacijska varijabilnost vokala 14. ispitanika.



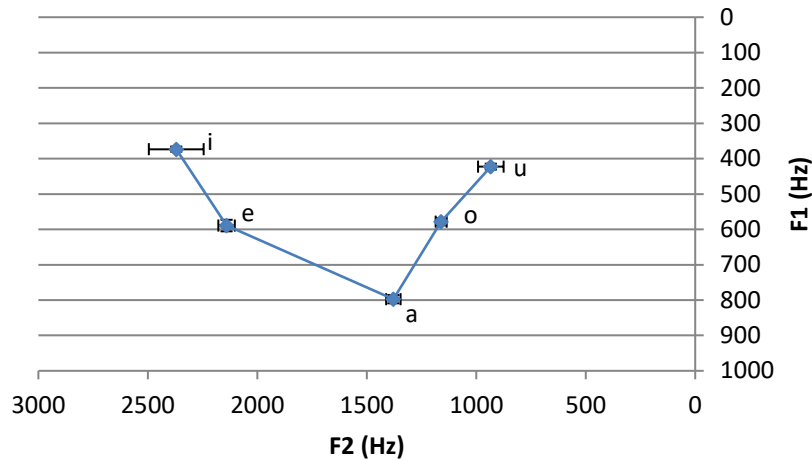
Slika 30. Biomehanička varijabilnost vokala 14. ispitanika.

6.15. Ispitanik 15

Kod ispitanika 15 koartikulacijski je najvarijabilniji vokal /i/ i to samo u vrijednostima F2, dok F1 vokala uopće nije varijabilan u različitim konsonantskim okolinama. Za njim slijedi vokal /u/ koji je također varijabilan samo u drugom formantu, ali manje, dok ostala tri vokala ne ostvaruju izraženiju varijabilnost, iako se kod /e/ naziru pomaci u oba formanta, a kod /a/ i /o/ samo u drugom formantu.

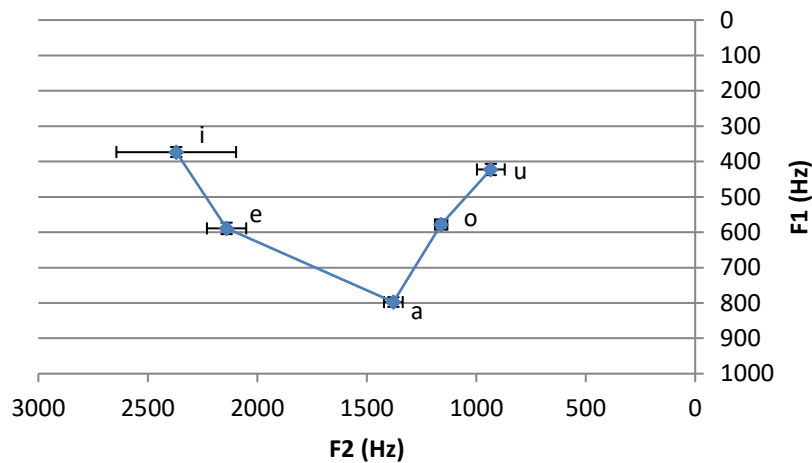
Biomehanička varijabilnost ovog ispitanika također je veća u odnosu na koartikulacijsku. To je posebno vidljivo za vokali /i/ koji je opet najvarijabilniji vokal u sustavu u vrijednostima F2, dok mu prvi formant i ovdje ostaje stabilan. Veliki pomak vidi se i za drugi formant vokala /e/. Vokali /a/ i /o/ ostaju jednako varijabilni u ponavljanju riječi kao i kod različitih konsonantskih okolina, a kod vokala /u/ vidi se veća varijabilnost, ali samo u prvom formantu.

Koartikulacijska varijabilnost



Slika 31. Koartikulacijska varijabilnost vokala 15. ispitanika.

Biomehanička varijabilnost



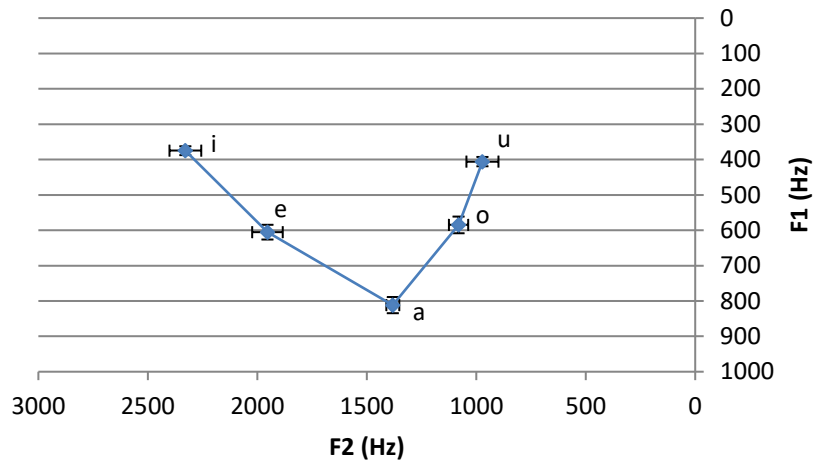
Slika 32. Biomehanička varijabilnost vokala 15. ispitanika.

6.16. *Prosječni rezultati svih ispitanika*

Na slikama 33 i 34 prikazane su uprosječene vrijednosti prvog i drugog formanta pet hrvatskih vokala svih ispitanika, odnosno zajednički vokalski trapezi svih ispitanika ovog istraživanja. Na slici 33 prikazana je ukupna koartikulacijska, a na slici 34 ukupna biomehanička varijabilnost svih ispitanika. Već pri samoj vizualnoj inspekciji mogu se vidjeti jasne razlike između dvije varijabilnosti. Od ukupno 15 ispitanika, kod 13 ispitanika biomehanička varijabilnost veća je od koartikulacijske, dok su kod dva ispitanika varijabilnosti jednake (tablica 6). Uprosječeno, svi vokali ostvaruju veću biomehaničku

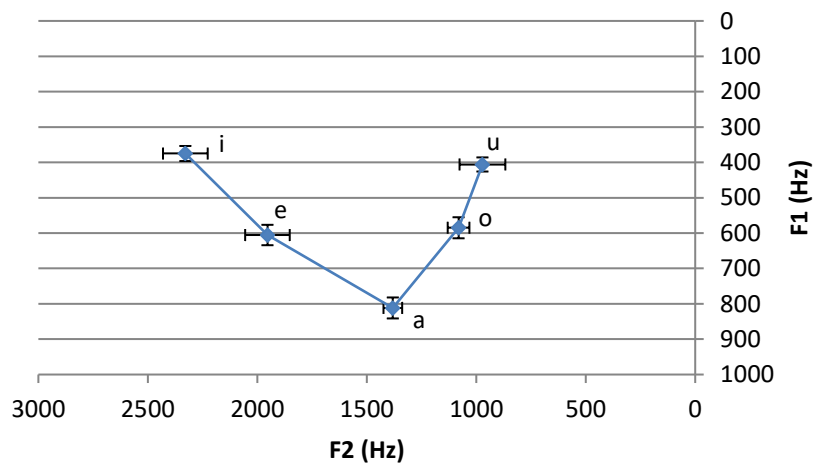
varijabilnost od koartikulacijske. U oba slučaja, najvarijabilniji vokali u F2 su /i/ i /u/, zatim slijede /e/ i /o/ koji su manje varijabilniji u F2, ali s nešto većom varijabilnosti F1, dok je vokal /a/ najmanje varijabilan vokal u sustavu u oba formanta.

Koartikulacijska varijabilnost



Slika 33. Ukupna koartikulacijska varijabilnost svih ispitanika

Biomehanička varijabilnost



Slika 34. Ukupna biomehanička varijabilnost svih ispitanika.

Tablica 6. Prevladavajuća varijabilnost ispitanika

	Koartikulacijska	Biomehanička
Ispitanik 1	0	0
Ispitanik 2		+
Ispitanik 3		+
Ispitanik 4		+
Ispitanik 5		+
Ispitanik 6		+
Ispitanik 7	0	0
Ispitanik 8		+
Ispitanik 9		+
Ispitanik 10		+
Ispitanik 11		+
Ispitanik 12		+
Ispitanik 13		+
Ispitanik 14		+
Ispitanik 15		+

7. Rasprava i zaključak

Starija istraživanja su uglavnom, baveći se pitanjem koartikulacije, zanemarivala utjecaj biomehaničkih karakteristika govornog aparata na varijabilnost vokala (i ostalih glasova). Primjerice, Nittrouer i sur. (1989, 1996) u istraživanjima koja su proučavala koartikulaciju kod petogodišnje djece i odraslih, zaključili su kako djeca najprije ovladavaju međusložnu gestovnu organizaciju, a tek kasnije unutarložnu. Iz toga su zaključili da su glasovne geste djece prostorno jasnije nego kod odraslih. Međutim, ta istraživanja nisu uzimala u obzir individualne biomehaničke razlike ispitanika koje bi utjecale na koartikulacijske obrasce poput građe govornih organa, snage mišića i sl. Carović (2016) navodi nekoliko ključnih faktora koji predstavljaju izazov u proučavanju biomehaničkih varijabilnosti vokala: 1. utjecaj individualnih razlika – odnosi se na to da svaki pojedinac ima jedinstven anatomske i fiziološki profil na koji utječu veličina i oblik usne šupljine, grkljana i drugih relevantnih struktura. Prema tome svaki pojedinac proizvodi vokale na različite načine što komplicira analizu i uspoređivanje rezultata različitih govornika; 2. kontrola varijabli u istraživanju – u svim istraživanjima precizni rezultati ovise o kontroli što većeg broja varijabli. U proučavanju varijabilnosti vokala u značenjskim i beznačenjskim riječima može doći do nejasnoća u interpretaciji rezultata zbog uspoređivanja rezultata sa spontanom govorom; 3. priroda

vokalske produkcije – vokali su rezultat interakcije anatomskih struktura (pluća, glasnica, usne šupljine) i različitih faktora kao što su emocionalno stanje govornika, brzina govora i kontekst. Sve to otežava standardizaciju i mjerenje biomehaničkih karakteristika vokala. Na temelju dosad navedenih istraživanja koartikulacije, ali čak i intuitivno, rekli bismo kako na varijabilnost vokala najviše utječu konsonantska okruženja unutar riječi. Međutim, rezultati ovog istraživanja pokazuju upravo suprotno. Kod 13 od 15 ispitanika (tablica 6) pokazalo se kako je varijabilnost na koju utječu mehaničke karakteristike samih ispitanika veća u odnosu na koartikulacijsku na koju utječu glasnički konteksti. Dakle, u 86,7 % slučajeva pokazalo se da se biomehanička varijabilnost razlikuje od koartikulacijske te da je biomehanička varijabilnost izraženija, dok je konsonantski kontekst dopuštao slabiju varijabilnost ispitivanih vokala. Neka novija istraživanja također ukazuju na potrebu u razdvajanju biomehaničke i koartikulacijske varijabilnosti u izgovoru. Howson i Redford (2022) proučavali su koartikulacijski utjecaj vokala na frikative kod tri dobne skupine (djeca od 5 i 7 godina i odrasli). Rezultati su pokazali očekivanu biomehanički motiviranu hijerarhiju koartikulacijskog otpora triju frikativa kod odraslih, dok je kod djece koartikulacija jako zavisila o redosljedu usvajanja glasova, pa su frikativi koji su kod odraslih bili izrazito varijabilni, kod djece bili najotporniji na koartikulacijske utjecaje. Mielke i sur. (2023) su biomehaničkim modeliranjem dodali rotičnost u jezik kalasha te tako izazvali reorganizaciju vokalskog prostora, pogotovo u prednjem dijelu stražnjih vokala. Određeni vokali su se akustički toliko razlikovali od izvornih vokala da se to nije moglo predvidjeti samo na temelju koartikulacije. Ovakve studije zajedno s ovim radom zajedno ilustriraju složenost varijabilnosti vokala te naglašavaju nužnost razlikovanja biomehaničkih utjecaja od koartikulacijskih učinaka u produkciji govora. Razumijevanje različitosti ovih pojava ključno je za napredovanje teorija u fonetici i razvoju govora. Odvajanjem biomehaničke od koartikulacijske varijabilnosti istraživači mogu bolje razumjeti temeljne mehanizme proizvodnje govora, što dovodi do točnijih modela o tome kako se govor stvara i percipira. Razlikovanje varijabilnosti također je značajno za kliničke primjene kao što je govorna terapija. Razumijevanjem specifičnih doprinosa biomehaničkih i koartikulacijskih čimbenika u govornoj terapiji mogu se otkriti temeljni uzroci varijabilnosti govora kod osoba s poteškoćama u govoru što utječe na sam tijek i vrstu terapije.

Recasens (1999) tvrdi kako su prednji vokali manje varijabilni od stražnjih zbog njihovih stabilnih fonetskih karakteristika. Za stražnje vokale kaže kako pokazuju veću varijabilnost zbog različitih utjecaja na njihovu artikulaciju, dok prednji imaju tendenciju

zadržati precizniji izgovor u različitim glasničkim kontekstima. Takve razlike u varijabilnosti Recasen (1999) objašnjava položajem jezika unutar usne šupljine, odnosno time da se prednji vokali artikuliraju podizanjem prednjeg dijela jezika prema tvrdom nepcu i istovremenom istežanju jezika što masu jezika čini ograničenom za druge pokrete pa time i otpornije na utjecaje artikulacijskih pokreta drugih glasova. Bašić (2018) veću varijabilnost stražnjih vokala povezuje s frekvencijama drugog formanta. U odnosu na prednje vokale, stražnji vokali imaju niže vrijednosti F2. U akustičkom smislu, prednji konsonanti mogu smanjiti vrijednosti F2 stražnjih vokala, dok ih stražnji konsonanti mogu povećati. Bašić i Milićević (2022) navode i utjecaj rezonancije na varijabilnost stražnjih vokala. Prednji vokali koriste rezonanciju koja se odvija u prednjem dijelu usne šupljine, dok stražnji vokali koriste rezonanciju u stražnjem dijelu usne šupljine. Takvi artikulacijski uvjeti također utječu na sklonost stražnjih vokala na promjene u izgovoru. Prema svemu navedenom, za očekivati je da će prednji vokali /i/ i /e/ biti manje varijabilni od stražnjih vokala /u/ i /o/. Grafovi koji prikazuju ukupnu varijabilnost ispitanika (slike 33 i 34) ukazuju da je varijabilnost prednjih i stražnjih vokala podjednaka i na temelju tih prikaza ne možemo utvrditi jasne zaključke o razlikama između te dvije skupine vokala. Međutim, ako proučimo varijabilnosti pojedinačnih ispitanika, možemo uočiti da su se prednji vokali u čak 5 od 15 slučajeva pokazali varijabilnijim u izgovoru od stražnjih vokala (ispitanici: 1, 5, 13, 14, 15). Mnogi autori (Bašić, 2023; Alqarni, 2018; Jacewicz i Fox, 2009) ovakve rezultate uglavnom tumače kroz sociolingvističke čimbenike. Prednji vokali mogu pokazati veću varijabilnost zbog društvenih i kontekstualnih utjecaja jer su prednji vokali često odraz identiteta govora, odnosno prednji vokali često u sebi nose naznake dijalekta osobe. Druga skupina studija ovakve rezultate pripisuje artikulacijskim razlikama među vokalima. Jackson i McGowan (2012) u istraživanju visokih prednjih vokala u sjevernoameričkom engleskom, francuskom i mandarinskom zaključili su kako na varijabilnost vokala utječu stupanj suženja i zaokruživanje usana pri izgovoru. Zaključuju kako visoki prednji vokali mogu uvelike varirati u produkciji u različitim jezicima u usporedbi za stražnjim vokalima u tim jezicima. Pisoni (2012) tvrdi kako na varijabilnost u proizvodnji vokala utječe artikulacijska kontrola. Govornici koriste različite artikulacijske strategije za proizvodnju prednjih i stražnjih vokala što utječe na njihovu stabilnost pa iako neki govornici pokazuju veću varijabilnost u stražnjim vokalima, to nije univerzalno primijećeno kod svih govornika, što ukazuje na individualne razlike u artikulacijskoj preciznosti. Zbog svega navedenog, tvrdnja da su prednji vokali manje varijabilni od stražnjih nije dosljedno podržana u svim studijama kao ni u ovome radu. Iako Recasenov model (1999) pretpostavlja da će /i/ zbog svojih artikulacijskih karakteristika biti

najmanje varijabilan vokal u sustavu, ovo istraživanje pokazuje da je vokal /i/ kod nekih ispitanika izrazito varijabilan, a kod nekih i najvarijabilniji (ispitanici: 1, 5, 13, 15). Mnoga novija istraživanja (McGowan i sur., 2014; Sánchez i sur., 2019; Levy i Hanulíková, 2019; Roepke i Brosseau-Lapré, 2021) također u istraživanju varijabilnosti vokala ne izdvajaju vokal /i/ kao manje varijabilan od ostalih.

Ovim istraživanjem doneseno je nekoliko zaključaka:

- 1) Biomehanička varijabilnost u govoru postoji i ne smije biti zanemarena u istraživanjima o koartikulaciji. Ovo istraživanje pokazalo je kako se biomehanička varijabilnost razlikuje od koartikulacije te se pokazala izraženijom i prevladavajućom u odnosu na koartikulacijsku varijabilnost. Čini se kako varijabilnost govora ovisi o mnogo različitih faktora (artikulacijskim, lingvističkim, društvenim,...) te je u jednom istraživanju sve faktore teško uzeti u obzir. Međutim, ovakva saznanja daju dobar pravac budućim istraživanjima u pronalasku odgovora o temeljnim jedinicama govorne proizvodnje.
- 2) U proučavanju varijabilnosti (kao i u svim drugim fonetskim istraživanjima) važno je zaključke donositi ne samo na ukupnim uprosječenim rezultatima, već i na individualnim rezultatima ispitanika. U ovom istraživanju ukupni rezultati nisu mogli pokazati razlike u dvije vrste varijabilnosti kao ni između određenih vokala. Zaključci o razlikama prednjih i stražnjih vokala i teoriji o /i/ kao najmanje varijabilnom vokalu u sustavu mogli su se donositi samo na temelju pojedinačnih rezultata ispitanika.
- 3) Dobro je napomenuti kako je veličina uzorka istraživanja izrazito važna te da uzorak od 15 ispitanika nije dovoljan za donošenje generalnih zaključaka o produkciji govora čovjeka. Međutim, na temelju ovih 15 ispitanika može se tvrditi da se koartikulacijska i biomehanička varijabilnost razlikuju te da buduća istraživanja trebaju nastojati razdvojeno analizirati ove dvije vrste varijabilnosti.

8. Literatura

1. Alqarni, H. (2018). *The production of English vowels by native Arabic speakers*. Diplomski rad. Colorado, Department of English.
2. Bakran, J. (1996). *Zvučna slika hrvatskoga govora*. Zagreb: Ibis grafika.
3. Bašić, I. (2018). *Akustička analiza općeprihvaćenoga hrvatskoga i srpskog govora – formantska analiza i mjere fundamentalne frekvencije*. Doktorski Rad. Sveučilište u Zagrebu, Filozofski fakultet.
4. Bašić, I. (2023). Varijabilnost formanata u (dis)fluentnome govoru u kontekstu forenzične fonetike. U L. Pon i I. Šarić Šokćević (ur.), *37. međunarodni znanstveni skup HDPL-a: Jezik i migracije*. Osijek.
5. Bašić, I. i Milićević, M. (2022). Akustička analiza glasa transrodne žene uslijed vokalne terapije – prikaz slučaja. *Govor*, vol. 39, 2, 151-180. doi: 10.22210/govor.2021.39.08
6. Boersma, P. i Weenink, D. (2022). *Praat: doing phonetics by computer*, <http://www.praat.org/> (pristupljeno 27. srpnja 2022).
7. Carović, I. (2014). *Ultrazvučno istraživanje artikulacije i koartikulacije hrvatskoga vokalskog sustava*. Doktorski rad. Sveučilište u Zagrebu, Filozofski fakultet.
8. Carović, I. (2016). Ultrazvučno istraživanje: hrvatski vokali u beznačenjskim i značenjskim riječima. U Lazić, N. i Pletikos, E. (ur.), *Knjiga sažetaka: 9. znanstveni skup s međunarodnim sudjelovanjem Istraživanja govora*. Hrvatsko filološko društvo, 31-33.
9. Daniloff, R. G. i Hammarberg, R. E. (1973). On defining coarticulation. *Journal of Phonetics*, 1, 239-248.
10. Farnetani, E. i Recasens, D. (2010). Coarticulation and Connected Speech Processes. U W. J. Hardcastle, J. Laver i F. E. Gibbon (ur.), *The Handbook of Phonetic Sciences*, Second Edition, 316-352.

11. Fowler, C. i Saltzman, E. (1993). Coordination and Coarticulation in Speech Production. *Language and Speech*, 36, (2, 3), 171-195. doi: 10.1177/002383099303600304

12. Hammarberg, R. (1976). The metaphysics of coarticulation. *Journal of Phonetics*, vol. 4, 353-363.

13. Harrington, J. (2010). Acoustic phonetics. U J.L. Hardcastle, J. Laver i F.E. Gibbon (ur.), *The handbook of phonetic sciences*, vol. 2, 81-129.

14. Horga, D. i Liker, M. (2016). *Artikulacijska fonetika. Anatomija i fiziologija izgovora*. Zagreb: Ibis grafika.

15. Howson, P. J. i Redford, M. A. (2022). A Cross-Sectional Age Group Study of Coarticulatory Resistance: The Case of Late-Acquired Voiceless Fricatives in English. *Journal of Speech, Language and, Hearing Research*, vol. 65, 9, 3316-3336. doi: https://doi.org/10.1044/2022_JSLHR-21-00450

16. Jacewicz, E. i Fox, R. A. (2009). Cross-dialectal variation in formant dynamics of American English vowels. *Journal of the American Statistical Association*, vol. 126, 5, 2603–2618. doi: 10.1121/1.3212921

17. Jackson, M. T. i McGowan, R. S. (2012). A study of high front vowels with articulatory data and acoustic simulations. *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 131, 4, 3017-3035. doi: 10.1121/1.3692246

18. Johnson, K. (2003). *Acoustic and Auditory Phonetics*. Malden: Blackwell Publishing.

19. Katz, W. F. i Bharadwaj, S. (2001). Coarticulation in fricative-vowel syllables produced by children and adults: a preliminary report. *Clinical linguistics & phonetics*, vol. 15, no. 1, 2, 139-143.

20. Kent, R. D. i Read, C. (2002). *The Acoustic Analysis of Speech*. NY: Delmar, Cengage Learning.

21. Larkey, L. S., Wald, J. i Strange, W. (1978). Perception of synthetic nasal consonants in initial and final syllable position. *Perception & Psychophysics*, vol. 23, 4, 299-312.
22. Laver, J. (1994). *Principles of phonetics*. Cambridge: Cambridge University Press.
23. Levak, T. (2021). *Prikaz dijagnostičkog instrumentarija za dijagnosticiranje dječje govorne apraksije*. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Edukacijsko-rehabilitacijski fakultet.
24. Levy, H. i Hanu likova, A. (2019). Variation in children's vowel production: Effects of language exposure and lexical frequency. *Laboratory Phonology*, vol. 10, 1, 1-26. doi: <https://doi.org/10.5334/labphon.131>
25. Liker, M., Horga, D. i Šafarić, I. (2008). Koartikulacijski pritisak i koartikulacijski otpor: ultrazvučno istraživanje. Izvorni znanstveni članak. *Govor*, vol. 25, 2, 171-188.
26. McGowan, R. W., McGowan, R. S. i Denny, M. (2014). A longitudinal study of very young children's vowel production. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, vol. 57, 1, 1-15. doi: [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2013/12-0112\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2013/12-0112))
27. Mielke, J., Hussain, Q. i Moisić, S. R. (2023). Development of a new vowel feature from coarticulation: Biomechanical modeling of rhotic vowels in Kalasha. *Laboratory Phonology: Journal of the Association for Laboratory Phonology*, 14(1), 1-52. doi: <https://doi.org/10.16995/labphon.9019>
28. Moll, K. L. i Daniloff, R. G. (1970). Investigation of the Timing of Velar Movements during Speech. *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 50, 2, 678-684. doi: <https://doi.org/10.1121/1.1912683>
29. Nittrouer, S., Studdert-Kennedy, M. i McGowan, R. S. (1989). The Emergence of Phonetic Segments. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, vol. 32, 1. doi: [10.1044/jshr.3201.120](https://doi.org/10.1044/jshr.3201.120)

30. Nittrouer, S., Studdert-Kennedy, M. i Neely, S. T. (1996). How Children Learn to Organize Their Speech Gestures: Further Evidence From Fricative-Vowel Syllables. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, vol. 39, 2. doi: 10.1044/jshr.3902.379
31. Nodilo, N. i Liker, M. (2023). Pivotiranje jezika u osoba s umjetnom pužnicom. Izvorni znanstveni rad. *Govor*, vol. 40, 2, 141-168.
32. Pisoni, D. B. (2012). Variability of Vowel Formant Frequencies and the Quantal Theory of Speech: A First Report. *Phonetica*, vol. 37, 285-305. doi: 10.1159/000259999
33. Recasens, D. (1999). Lingual coarticulation. U *Theory, Data and Techniques*, 80-104. Cambridge University Press.
34. Roepke, E. i Brosseau-Lapr e, F. (2021). Vowel Errors Produced by Preschool-Age Children on a Single-Word Test of Articulation. *Clinical Linguistics & Phonetics*, vol. 35, 12, 1161-1183. doi: <https://doi.org/10.1080/02699206.2020.1869834>
35. Sánchez, M. R. G., González Lutz, M. I. i Sol s Pérez, N. (2019). English vowel sounds: Pronunciation issues and student and faculty perceptions. *Actualidades Investigativas en Educación*, vol. 19, no. 3, 33-67. doi: 10.15517/aie.v19i3.38629
36. Scarborough, R. A., i Zellou, G. (2013). Clarity in communication: "Clear" speech authenticity and lexical neighborhood density effects in speech production and perception. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 134, 5, 3793-3807. doi: 10.1121/1.4824120
37. Smith, B. L. (1995). Variability of Lip and Jaw Movements in the Speech of Children and Adults. *Phonetica*, 52, 307-316. doi: 10.1159/000262184
38. Syrdal, A. K. i Gopal, H. S. (1986). A perceptual model of vowel recognition based on the auditory representation of American English vowels. *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol.79, 4, 1086-1100. doi: <https://doi.org/10.1121/1.393381>
39. Toivonen, I. i sur. (2015). Vowel Height and Duration. *Cascadilla Proceedings Project*, vol. 32, 64-71.

40. Waldstein, R. S. i Baum, S. R. (1991). Anticipatory coarticulation in the speech of profoundly hearing-impaired and normally hearing children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, vol. 34, 6, 1276-1285.

41. Zharkova, N. (2017). Voiceless alveolar stop coarticulation in typically developing 5-year-olds and 13-year-olds. *Clinical Linguistics & Phonetics*, vol. 31, 503-513.

9. Sažetak

Akustička analiza koartikulacijske i biomehaničke varijabilnosti hrvatskih vokala

U ovom su se istraživanju analizirale frekvencije formanata kao akustički korelati varijabilnosti hrvatskih vokala. Glavni cilj rada bio je ustanoviti utječe li na varijabilnost vokala više konsonantska okolina vokala ili biomehaničke karakteristike govornika. U istraživanju je sudjelovalo petnaest (15) odraslih govornika hrvatskog jezika ženskoga spola. Govorni materijal sadržavao je 20 značenjskih riječi koje su sadržavale pet hrvatskih vokala u četiri različite konsonantske okoline. Za svakog su ispitanika formulom standardne devijacije izračunate dvije vrste varijabilnosti – koartikulacijska varijabilnost vokala u različitim konsonantskim okolinama i biomehanička varijabilnost vokala kod ponavljanja istog vokala u istim konsonantskim okolinama. Pretpostavka rada bila je da će biomehanička varijabilnost biti jednaka koartikulacijskoj budući da još uvijek ne postoje dokazane biomehaničke razlike koje ukazuju da su neki vokali varijabilniji od drugih. Rezultati su pokazali da je varijabilnost vokala izraženija u ponavljanju istih vokala u istim konsonantskim okolinama, odnosno da na varijabilnost više utječu biomehničke karakteristike govornika. Kod 13 od 15 ispitanika biomehanička varijabilnost bila je izraženija od koartikulacijske, a kod 2 ispitanika varijabilnosti su bile podjednake.

Ključne riječi: koartikulacija, biomehnička varijabilnost, vokali, formanti, akustička analiza

10. Abstract

Acoustic analysis of coarticulation and biomechanical variability of croatian vowels

The goal of this master thesis and its research was to analyze the formant frequencies as acoustic correlates of the variability of Croatian vowels. The main goal was to determine whether vowel variability is influenced more by the consonantal environment or the speaker's biomechanical characteristics. 15 female adult speakers of the Croatian language participated in the research and the speech material contained 20 words with meaning that contained five Croatian vowels, in four different consonant environments. Two types of variability were calculated for each respondent using the standard deviation formula: coarticulation variability of vowels in different consonant environments and biomechanical variability of vowels when repeating the same vowel in the same consonant environments. The main assumption of the work was that biomechanical variability will be equal to coarticulation since there are still no proven biomechanical differences that indicate that some vowels are more variable than others. The results showed that the variability of the vowels is more significant in the repetition of the same vowels in the same consonant environments. In 13 out of 15 total subjects, biomechanical variability was more significant than coarticulation, and in 2 subjects the variability was equal.

Keywords: coarticulation, biomechanical variability, vowels, formants, acoustic analysis