

Maskiranje okluziva

Martinjak, Tihana

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:131:028410>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-19**



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

Tihana Martinjak

MASKIRANJE OKLUZIVA

Diplomski rad

Zagreb, rujan, 2023.

Sveučilište u Zagrebu

Filozofski fakultet

Odsjek za fonetiku

Tihana Martinjak

MASKIRANJE OKLUZIVA

Diplomski rad

Mentorica: izv. prof. dr. sc. Elenmari Pletikos Olof

Zagreb, rujan, 2023.

PODACI O AUTORICI

Ime i prezime: Tihana Martinjak

Naziv oba studija: Fonetika, znanstveno usmjerenje fonetike; Španjolski jezik i književnost, smjer znanstveni, modul književnost

PODACI O RADU

Naslov rada na hrvatskome jeziku: Maskiranje okluziva

Naslov rada na engleskome jeziku: Masking of plosives

Datum predaje rada: 9. rujna 2023.

IZJAVA O AUTORSTVU DIPLOMSKOGA RADA

Ovim potvrđujem da sam osobno napisala diplomski rad pod naslovom

MASKIRANJE OKLUZIVA

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.

Tihana Martinjak

Zagreb, rujan, 2023.

Od srca hvala svim dragim ljudima koji su izdvojili svoje vrijeme kako bi sudjelovali u ovom istraživanju i time omogućili nastanak ovog rada. Posebno hvala mojoj majci i baki na svojoj pomoći i podršci tokom studiranja – napokon ste dočekale moju diplomu!

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI OKVIR.....	2
2.1. Psihoakustika.....	2
2.2. Percepcija i maskiranje	6
2.3. Šumovi	10
2.4. Okluzivi.....	12
2.5. Dosadašnja istraživanja okluziva.....	16
3. CILJ I HIPOTEZE.....	21
4. METODA	22
4.1. Materijal	22
4.2. Ispitanici.....	24
4.3. Tijek eksperimenta.....	25
5. REZULTATI I RASPRAVA	26
6. ZAKLJUČAK	30
7. LITERATURA.....	31

1. UVOD

Međuljudska komunikacija ne odvija se uvijek u idealnim uvjetima. Ako se nađemo u bučnom okruženju informaciju ćemo prenositi teže jer će se dio glasova koji izgovaramo stopiti s okolnim zvukovima. Tada možemo reći da je naš govor maskiran, odnosno da je njegova percepcija otežana zbog prisustva drugog zvuka. Područje koje se bavi proučavanjem percepcije zvukova u različitim uvjetima nazivamo psihoakustikom.

Ovaj rad dat će uvid u percepciju hrvatskih okluziva u otežanim komunikacijskim uvjetima, odnosno u uvjetima gdje se njihova percepcija maskira širokopojasnim šumom. Kroz teorijski okvir i kroz istraživanje provedeno u sklopu ovog rada ukazat će se na specifičnosti okluziva koja mogu utjecati na njihovu rezistentnost pri maskiranju. Obilježja okluziva su ujedno bila interes koji je motivirao obrađivanje ove teme.

U radu će se prvo predstaviti povijesni pregled i aktualnost psihoakustičkih istraživanja. Obradit će se teme percepcije govora unutar čega će se objasniti i pojam maskiranja. Rad sadrži i detaljan akustički i artikulacijski opis hrvatskih okluziva kao i akustički opis šumova kao govornog zvuka, ali i kao buke. Unutar teorijskog okvira navest će se i najvažnija dosadašnja istraživanja o percepciji okluziva u hrvatskom jeziku i drugim jezicima. U daljnjim poglavljima navode se hipoteze istraživanja te materijal, ispitanici i opis uvjeta u kojima je istraživanje provedeno. Na kraju rada predstaviti će se rezultati i rasprava koja će ovo istraživanje staviti u kontekst dosadašnjih istraživanja. U zaključku će se objediniti najvažnije spoznaje o temi maskiranja okluziva šumovima.

2. TEORIJSKI OKVIR

Zvuk i njegove karakteristike područje su interesa različitih znanstvenih polja. Zvuk je stimulus, val, informacija, uroda ili bol, glazba, govor ili čak tihi šum koji percipiramo kao tišinu. Ovo poglavlje počinje s presjekom istraživanja kroz koje je čovjek pokušao protumačiti ovaj nevidljivi fenomen. Objasnit će se i koje su naše urođene sposobnosti za percepciju zvuka, posebice govornog zvuka, te kako se ona mijenja s obzirom na uvjete u kojima komuniciramo. Unutar ovog poglavlja opisuju se i okluzivi i šumovi kroz svoja akustička i artikulacijska svojstva. Najvažnija perceptivna svojstva okluziva dodatno su istaknuta u dijelu o dosadašnjim istraživanjima.

2.1. Psihoakustika

Tema koja se obrađuje u sklopu ovog rada dio je područja istraživanja koje nazivamo psihoakustika. Psihoakustika je grana psihologije i akustike koja se bavi percepcijom zvuka. Cilj joj je razumjeti kako ljudi interpretiraju auditivne informacije, uključujući načine na koje ljudski mozak obrađuje različite akustične signale. Saznanja iz područja psihoakustike pomažu pri oblikovanju audio sustava, slušnih pomagala i druge tehnologije koje uključuju ljudsku auditivnu percepciju. Primjenjuje se i u području glazbene produkcije, dizajna zvuka kao i tonskog inženjeringa.

Povijest psihoakustike seže sve do vremena Antičke Grčke (Yost, 2015). Pitagora je zajedno sa svojim učenicima pokušao razumjeti glazbu i pronaći matematička i fizikalna objašnjenja za glazbene ljestvice te pojave kao što su konsonanca i disonanca. Aristotel je prvi koji je pretpostavio da zvuk putuje zrakom, no tek je Leonardo da Vinci u 16. stoljeću prvi shvatio kako zvuk zapravo ima oblik vala. Galileo Galilei zapisao je kako je, kad je oštrim rubom prešao preko mjedene površine, začuo visoki, neugodni, škripavi zvuk. Zaključio je kako takvu vrstu zvuka omogućuju razmaci između udubljenja oštrica. Međutim, tek je Robert Hooke u 17. stoljeću potvrdio povezanost između frekvencije vibriranja i tona. Konstruirao je kotač sa zupcima jednakih razmaka koja bi pri okretanju kotača udarala o komad papira. Primijetio je kako se brzinom okretanja mijenja visina zvuka koju proizvode zupca. Ovaj izum kasnije je usavršio Felix Savart koji se bavio proučavanjem slušne percepcije. U 1711. John Shore izumio je zvučnu viljušku koju je koristio za naštimanje instrumenata prije koncerta.

19. stoljeće možemo smatrati prekretnicom u istraživanju slušne percepcije, vrijeme u kojem psihoakustika prestaje biti tek niz zanimljivih opažanja i pretvara se u sistematično proučavanje akustičkih varijabli i psihofizičkih senzacija kroz eksperimente u kontroliranim uvjetima (Yost, 2015). Psihoakustičke teme koje su najviše zaokupile znanstvenike, a aktivno su se istraživale i kasnije, bile su percepcija visine tona i lokalizacija zvuka. Njemački fizičar Hermann von Helmholtz, jedan od najznačajnijih fizičara tog doba, objavio je djelo *O osjećaju tona kao fiziološkoj osnovi za teoriju glazbe* koje je desetljećima služilo kao osnova u istraživanju slušne percepcije. U knjizi primjenjuje Fourierov teorem, teorem koji se inače veže uz analizu složenih fluktuacija topline u jedinici vremena, a koji Helmholtz koristi kako bi postavio svoju teoriju o percepciji tonske visine. Teorija koju je postavio danas je poznata kao teorija mjesta (eng. *resonance theory, place theory*). Helmholtz tvrdi kako zvučni stimulus, ovisno o njegovoj frekvenciji, u unutarnjem uhu, točnije u pužnici, pobuđuje različita mjesta uzduž bazilarne membrane. Drugim riječima, naše uho obavlja neku vrstu spektralne analize. Helmholtza je na ovakvo razmišljanje potaknuo Georg Simon Ohm. Upravo je on pretpostavio da ljudsko uho obavlja neki oblik Fourierove analize, odnosno da uho može razlikovati pojedinačne sinusoidalne komponente od kojih je sačinjen svaki kompleksni zvuk¹ (Plack i Oxenham, 2005: 13). Helmholtzovu i Ohmovu teoriju pokušao je opovrgnuti August Seebeck. Njegovi eksperimenti s akustičnom sirenom dokazali su da percepcija visine tona ne ovisi o prisutnosti njegove fundamentalne frekvencije, već da su za uspješno detektiranje tona dovoljni njegovi harmonici. Seebeckova opažanja 1940-ih nastavlja produbljivati nizozemski fizičar Johannes Schouten koji postavlja tzv. teoriju ostataka (eng. *residue theory*) koja objašnjava kako se 'ostatak' fundamentalne frekvencije, zahvaljujući svojoj vremenskoj amplitudi, ostvaruje u visokim frekvencijama² (de Cheveigné, 2005: 191). Znanstvenike 19. stoljeća također je

¹ „Ohm (1843) believed that the pitch of complex tones was derived from the frequency of the lowest harmonic. For almost every complex tone encountered in the environment this explanation works quite well, since the repetition rate of a complex tone is equal to the frequency of the first harmonic (or fundamental component) which is usually present in the spectra of natural sounds“ (Plack i Oxenham, 2005: 13)

² „Manipulating individual partials of a complex with his optical siren, he trained his ear to hear them out (as Helmholtz had done before using resonators). He noted that the fundamental partial too could be heard out. The stimulus then seemed to contain two components with the same pitch. Introspection told him that their qualities were identical, respectively, to those of a pure tone at the fundamental and of a complex tone without a fundamental. The latter carried a salient low pitch. From his new law, Schouten reasoned that the missing-fundamental complex must either contain or be the residue. He noticed that removing additional low partials left the sharp quality intact. Low partials can be heard out, and each carries its own pitch, so Schouten reasoned that they are not part of the residue, whereas removing higher partials reduces the sharp quality that Schouten associated with the residue. Thus he concluded that the residue must consist of these higher partials perceived collectively“ (de Cheveigné, 2005: 191)

zanimalo kako je moguće da čovjek uspješno prepozna mjesto izvora zvuka, a da taj isti zvuk fizički ne zauzima mjesto u prostoru (Yost, 2015). Lokalizaciju zvuka proučavao je Lord Rayleigh, dobitnik Nobelove nagrade za fiziku 1904. Uspostavio je razliku između interauralnog i binauralnog slušanja i objasnio efekt akustične sjene (eng. *acoustic shadow*) koju čovjekova glava stvara u trenutku kada izvor zvuka dolazi sa strane samo jednog uha. Kao glavne faktore interauralnog slušanja Rayleigh navodi razliku u fazi, odnosno vremenu u kojem signal dolazi do jednog i do drugog uha (eng. *interaural phase/time difference, ITD*) te razliku u intenzitetu (eng. *interaural level difference, ILD*) koje uho percipira s obzirom na blizinu izvora. Razlika u fazi dolazi do izražaja kod niskih frekvencija, dok je razlika u intenzitetu važnija kod detekcije izvora zvuka visokih frekvencija. Ovu teoriju su naknadno potvrdili Stevens i Newman 1936. godine s eksperimentom koji su proveli na krovu jedne od zgrada Sveučilišta Harvard.

20. stoljeće započelo je s vrlo značajnom uspostavom istraživačkih laboratorija Bell kompanije *American Telephone & Telegraph* 1925. godine (Yost, 2015). Neke od najznačajnijih istraživanja u ovoj instituciji nadgledao je Harvey Fletcher, koji je svojevremeno obnašao dužnost direktora odjela za akustička i fizička istraživanja, a bio je i prvi predsjednik *Acoustical Society of America*. Fletcher i njegovi suradnici istraživali su pojave koji se danas smatraju ključnima na području psihoakustike, kao što su prag čujnosti, percepcija promjena u intenzitetu i frekvenciji, maskiranje čistih tonova drugim čistim tonovima i šumovima, a osmislili su i skalu glasnoće izraženu u fonima te artikulacijski indeks. Ipak, kao najznačajnije doprinose valja istaknuti Fletcher-Munsonove krivulje glasnoće (eng. *Fletcher-Munson equal-loudness contours*) i koncept kritičnih pojaseva. Fletcher-Munsonova skala stavlja u odnos intenzitet i frekvenciju čistoga tona s razinom percipirane glasnoće. Krivulje pokazuju kako glasnoća čistoga tona koju percipira čovjek podjednako ovisi i o njegovu intenzitetu i o njegovoj frekvenciji, odnosno da je moguće dva čista tona različitih frekvencija, ali jednakog intenziteta, percipirati kao nejednako glasne. Koncept kritičnih pojaseva uglavnom se povezuje s fenomenom maskiranja, a Fletcher ih je definirao kao frekvencijska područja šuma ključna za maskiranje čistih tonova. Prag čujnosti čistoga tona proporcionalan je intenzitetu onog frekvencijskog pojasa šuma koji je frekvencijski najbliži čistom tonu. Kritične pojaseve nastavio je proučavati njemački znanstvenik Eberhardt Zwicker.

Do 1940-ih jasno se ustanovilo kako razlike u intenzitetu i fazi utječu na lokalizaciju zvuka u prostoru (Yost, 2015). Hirsh i Licklider dokazali su kako upravo takve razlike između signalnog i maskirajućeg zvuka pogodno utječu na percepciju signalnog zvuka, odnosno da njegov prag čujnosti postaje niži. Ovaj pomak u razini praga čujnosti nazvali su diferencijalnim pragom maskiranja (eng. *masking level difference*), a njegovo je proučavanje i dan danas jedna od dominantnijih tema istraživanja. Odskočna daska bilo je uvođenje eksperimenata u kojima su korištene slušalice te se tako utemeljuje razlika između lateralizacije i lokalizacije. Nat Durlach je 60-ih razvio model po kojem se pretpostavlja da putem binauralnog slušanja naš mozak isprva pokuša izjednačiti zvukove različitih izvora, a da ih tek naknadno isključuje i odvaja u procesu interauralnog slušanja. U drugoj polovici 20. stoljeća razvile su se i mnoge teorije o percepciji tonske visine: prvo Licklider, a potom Medis i Hewitt, tražili su povezanost između tonske visine i frekvencijskog kontinuiteta, dok su Goldstein, Terhardt i Wightman razvijali modele percepcije tonske visine temeljene na spektralnom sastavu. Također, u psihoakustici je u to vrijeme primijenjena teorija detekcije signala, koju su iznijeli David Green i John Swets. Njihova knjiga *Teorija detekcije signala i psihofizika* bila je dio esencijalne literature za sve koji su bili zainteresirani za ovo područje. Originalna teorija objašnjava način na koji čovjek percipira bilo kakvu vrstu signala te kako razlučuje bitne od nebitnih informacija na temelju statističke obrade. Kroz ovu teoriju proširila su se saznanja o pragovima osjeta kao i o našoj sposobnosti razlikovanja signala od buke u neidealnim uvjetima. Teorija detekcije signala pretpostavila je kako na percepciju zvuka ne utječe sama osjetljivost na podražaj, već i niz drugih faktora koji u ispitaniku uzrokuju neku vrstu pristranosti. Međutim, također je definiran način na koji se osjetljivost na zvuk može mjeriti neovisno o nepristranosti odgovora ispitanika.

Psihoakustičke teme koje se danas najviše istražuju su: percepcija zvuka u prirodnom okruženju (eng. *sound ecology*), nadogradnja na teoriju detekcije signala, percepcija glasnoće u odnosu na intenzitet, frekvenciju, spektar, vrijeme i dr., fenomen reverberacije, percepcija melodija, Haasov efekt ili efekt prednosti vala (eng. *precedence effect*) te utjecaj vizualnih podražaja na auditivne, kod čega se ističe ventrilokvija i McGurkov efekt (Loui i MacCallum, 2019).

2.2. Percepcija i maskiranje

Temelji za percepciju i proizvodnju govora počinju se stvarati i prije nego što izgovorimo svoje prve riječi. Dokazano je kako i u toj najranijoj dobi nismo tek pasivni slušači, neovisno o jeziku kojem smo izloženi ili o kulturi u kojoj odrastamo. Izlažući se govoru, dojenčad počinje razlikovati foneme i time se postavlja temelj za razumijevanje i proizvodnju jezika. Jezično usvajanje podrazumijeva neuralnu predanost (eng. *neural commitment*). U ranoj fazi razvoja, čovjek obvezuje svoju neuronsku mrežu na obrasce prirodnog unosa jezika. Koncept neuralne predanosti povezan je i s kritičnim razdobljem za usvajanje jezika. Početno kodiranje obrazaca za usvajanje materinjeg jezika se s vremenom isprepliće s obrascima za usvajanje drugih jezika, odnosno rano učenje potiče buduće učenje koje je u skladu s već naučenim obrascima i koje se na njih nadovezuje. No, jednako tako, rano učenje ograničava buduće učenje obrazaca koji nisu u skladu s već usvojenim obrascima (Kuhl, 2004). Ovo ograničenje odnosi se na period u kojem dojenčad gubi sposobnost razlikovanja fonema koji nisu vezani isključivo za njezin materinji jezik. Werker i Tees (1984) objašnjavaju kako se rađamo kao građani svijeta (eng. *citizens of the world*), no kasnije postajemo slušači ograničeni na vlastitu kulturu (eng. *culture-bound listeners*). U svom su istraživanju dokazali kako naša urođena sposobnost razlikovanja fonema svih prirodnih jezika, bez prethodnog iskustva slušanja, naglo opada već nakon prve godine života kao posljedica izloženosti materinjem jeziku. Drugim riječima, dojenčad počinje percipirati određene akustičke karakteristike kao stalna obilježja pojedinih fonetskih kategorija, dok realizacije koje ne mijenjaju značenje fonema počinje percipirati kao alofone.

Ovaj korak u procesu usvajanja govora naziva se kategorijskom percepcijom. Kategorijska percepcija je sposobnost slušatelja određenog jezika da klasificiraju glasove koji se u njemu koriste. Riječ je o ključnom procesu koji omogućuje da dojenčad počne učinkovito identificirati riječi. Kategorijska percepcija čini osnovu za mapiranje dolaznih govornih zvukova u odgovarajuće jezične jedinice. Laboratorijska demonstracije ovog fenomena uključuju dva zadatka; identifikaciju i razlikovanje (Kuhl, 2004). Kategorijsku percepciju istraživali su Eimas i suradnici (1971) kod dojenčadi u starosti od 1 i 4 mjeseca. Dojenčad je slušala kontinuum govornog zvuka u kojem se početni suglasnik /b/ postupno mijenjao u suglasnik /p/. Rezultati su pokazali kako dojenčad bolje razlikuju foneme različitih kategorija od njihovih alofona, odnosno kako uspješno razlikuje glas /b/ od glasa /p/. Dakle, bez obzira na kratko iskustvo s govorom odraslih, već dobi od 1 mjeseca uspješno razlikujemo akustičke varijacije na temelju kojih

svrstavamo glasove u pripadajuće fonemske kategorije. Miyawaki i suradnici (1975) istraživali su kategorijsku percepciju na odraslim govornicima. U istraživanju se ispitala važnost jezičnog iskustva u razlikovanju engleskih glasova /r/ i /l/. Očekivalo se kako će američki ispitanici razlikovati ova dva fonema, dok će japanski ispitanici detektirati stimulse kao alofone /ra/ pošto u japanskom ne postoji jasan kontrast između /r/ i /l/. Rezultati su potvrdili postavljene hipoteze i pokazalo se kako su američki ispitanici uspješnije razlikovali stimulse od japanskih ispitanika, bez obzira na to što su japanski ispitanici dugo učili i govorili engleski jezik. Eksperiment je dokazao kako je za uspješno razlikovanje glasova potrebno fonetsko iskustvo jezika u relativno ranoj životnoj dobi, npr. u adolescenciji ili ranije.

Čovjek se u svom okruženju ne susreće samo s govornim zvukom. Sve zvukove koje možemo percipirati neprestano izdvajamo u akustičke elemente koje potom povezujemo u cjeline koje pripadaju istom izvoru. Naša percepcija oslanja se na dva međusobno komplementarna mehanizma, a to su razdvajanje i spajanje (Bakran, Erdeljac i Lazić, 2000: 31). Primjerice, simultane komponente negovornog zvuka odvajamo na temelju faktora poput tonske visine, prostornog smještaja, spektralne regije i neovisnosti promjene. Kod određenja kategorije glasnika, naš auditivni mehanizam objedinjuje sve spektralne komponente koje pripadaju pojedinoj skupini. Spomenute vrste mehanizama možemo nazvati primitivnim mehanizmima procesiranja i mehanizmima zasnovanima na obrascima. Oba sudjeluju u analizi našeg zvučnog okruženja. Prvi oblik temelji se na prepoznavanju svojstava samog zvuka kao podražaja, dok se drugi ovisi o iskustvu slušanja i poznavanju zvukova u jezičnom kontekstu. Mehanizam obrazaca sadrži informacije o pravilnostima koje se manifestiraju na različitim razinama. Npr., ako čujemo riječ *whiskey* naši obrasci mogu pripremiti našu percepciju da bude spremna čuti npr. s ledom. Na temelju istih tih obrazaca moguća je i restauracija fonema u prisustvu šuma. Primitivni procesi, s druge strane, djeluju neovisno o našem znanju i volji tako da je moguće da ove dvije vrste mehanizama, iako uglavnom komplementarne, ponekad djeluju u sukobu (Bakran, Erdeljac i Lazić, 2000).

"Primitivni mehanizmi sortiraju signal u pojedine elemente, a mehanizmi koji se temelje na obrascima te elemente selektiraju i integriraju. Jedni i drugi procesi nisu osjetljivi na iste varijable. Npr. fundamentalna frekvencija grupe harmonika za primitivne je mehanizme vrlo značajna, a manje važna za procese koji se temelje na obrascima" (Bakran, Erdeljac i Lazić, 2000: 43).

Bitno je istaknuti kako oba mehanizma djeluju i sukcesivno i simultano.

Bakran, Erdeljac i Lazić (2000: 30) predlažu termin *zvučni tok* kojim ćemo označiti zvučne elemente koji predstavljaju cjeline, odnosno iste izvore zvuka. To je prijevod engleskog termina *stream* koji Bergman uvodi 1994. godine. Kriterij prema kojem nešto predstavlja isti zvučni tok u ovom kontekstu isključivo je psihoakustički. U opisu govornog zvuka ovaj pojam može označavati jedan glas, riječ ili rečenicu. Bitno je postojanje unutarnje kohezije koja ujedinjuje pojedine akustičke elemente. Valja napomenuti kako ovi mehanizmi razdvajanja i spajanja dolaze do izražaja u prirodnoj komunikaciji, u komunikaciji koja nije ostvarena u laboratorijskim uvjetima, već u situacijama gdje su prisutni drugi zvukovi, a riječi se ne izgovaraju u citatnom obliku.

Vremenska organizacija govora, odnosno redoslijed akustičkih obilježja i njihovo sekvencijalno povezivanje još je jedan bitan faktor u percepciji pojedinih glasnika. Redoslijed relevantnih informacija bitan je element glasova koji se pripisuju istom zvučnom toku. Zbog toga se primjerice tišina pred šumom okluziva ili afrikate ne percipira kao prekid zvučnog toka, već slušatelj okluziju interpretira kao događaj unutar istog zvučnog toka. Čovjekova percepcija redoslijeda akustičkih obilježja razlikuje se kod govora i kod drugih vrsta zvukova. Tako recimo vremenski ubrzan govor do 30 fonema u sekundi uspješno percipiramo bez govorne konfuzije, dok kod identično ubrzanog slijeda visokih i niskih tonova te ćemo tonove povezati u tokove sličnih tonskih visina. Čovjek isto tako nije u stanju percipirati redoslijed nepovezanih zvukova (Bakran, Erdeljac i Lazić, 2000: 31, 32).

Mehanizme razdvajanja i spajanja čovjek koristi i u suboptimalnim govornim situacijama, npr. u situacijama u kojima čujan zvuk prestaje biti čujan zbog prisutnosti drugog zvuka. Taj psihoakustički fenomen nazivamo *maskiranjem* (Stevens i Davis, 1960: 208). U hrvatskom jeziku termin koji koristimo za primarni, odnosno maskirani zvuk jest *signal*, dok zvuk koji onemogućuje njegovu percepciju nazivamo *maskom* (Bakran, 1999) Veličina efekta maskiranja izražava se u decibelima, a ta mjera nam govori za koliko se podigao prag sluha (eng. *threshold value*) signalnog zvuka. Veličina efekta maskiranja računa se kao razlika između praga sluha za signal bez maske i povišenog praga sluha kada je signal maskiran (Stevens i Davis, 1960: 208). U kontekstu ovoga rada bitno je istaknuti kako se okluzivi smatraju glasovima koje

je općenito teško maskirati zbog njihove nagle promjene energije, odnosno eksplozije, na granicama s ostalim glasovima (Bakran, Erdeljac i Lazić 2000: 43).

S obzirom na to da vrijeme uključivanja maske nije uvijek isto, razlikujemo tri vrste maskiranja: simultano maskiranje (eng. *simultaneous masking*), maskiranje unaprijed (eng. *forward masking, postmasking, post-stimulus masking*) i maskiranje unazad (eng. *backward masking, premasking, pre-stimulus masking*). Kod simultanog se maskiranja signal i maska preklapaju u svom trajanju, kod maskiranja unaprijed prvo čujemo signal, a zatim masku, dok kod maskiranja unazad signal čujemo tek nakon završetka maske (Zwicker i Fastl, 1999: 61, 62). Bakran, Edeljac i Lazić (2000: 43) ističu kako u kontekstu identifikacije zvučnih tokova, bitan element predstavlja asinkronija početaka i završetaka različitih vrsta zvukova koji, upravo u prirodnim komunikacijskim situacijama, vrlo rijetko počinju i završavaju istovremeno.

Još jedan pojam koji je bitno istaknuti u kontekstu maskiranja jesu kritični pojasi (eng. *critical band* ili *critical bandwidth*). Harvey Fletcher je, u eksperimentima gdje je signal bio čisti ton, a maska šum, pretpostavio da dio spektra šuma koji uspješno maskira signal jest upravo onaj dio koji je frekvencijski blizak tonu koji se pokušava maskirati. Dodatna pretpostavka, koja je postavila hipotezu o kritičnim pojasevima u kontekst apsolutnih vrijednosti, glasila je ovako: "maskiranje se postiže kada su intenzitet maskiranog tona i intenzitet dijela spektra šuma frekvencijski blizak maskiranom tonu jednake, dok drugi dijelovi spektra šuma u tom slučaju ne pridonose efektu maskiranja" (Zwicker i Fastl, 1999: 149). Maska će stoga postići najučinkovitiji efekt onda kada njezin zvuk aktivira iste dijelove bazilarne membrane kao i zvuk signala (Truax, 1999a).

Za uspješnu govornu komunikaciju neophodna je i razabirljivost. Njezini bitni faktori svakako su vizualna povratna sprega i semantika riječi koje izgovaramo. U bučnom okruženju u komunikaciji uživo očitavanje mjesta artikulacije sa sugovornikovih usana može nam pomoći pri razumijevanju njegova ili njezina iskaza. Ova vrsta povratne sprege izostaje u odsustvu vizualnog podražaja, kao kod telefonskih razgovora. Isto tako ćemo slabo razabirljiv govor lakše razumjeti ako smo upoznati s kontekstom unutar kojeg se koriste određene riječi, odnosno ako poznajemo temu o kojoj se govori (Pierce i David, 1958: 195-197).

2.3. Šumovi

Pojam šuma može se koristiti u dva različita konteksta. U kontekstu govornog zvuka, razlikujemo harmoničan i šuman zvuk. Dok je harmoničan zvuk onaj koji ima periodične titraje i diskontinuirani spektar, šuman je njemu suprotan, odnosno ima aperiodične titraje i kontinuirani spektar. Šuman zvuk nastaje kao posljedica zračnih vrtloga, na aeroturbulentan način. Vrtlozi su posljedica trenja zraka i na njihovim rubovima dolazi do naizmjeničnog povećanja i smanjenja zračnog tlaka. Zvuk šuma je aperiodičan jer su vrtlozi nestalnih veličina i nestalnih brzina obrtaja. Vrtloga je tim više što je protok zraka veći, a govorni prolaz uži i zakrivljeniji. Vrstu i količinu šuma uvjetuje upravo oblik govornog prolaza. Ako je tjesnac u prolazu okrugao, šum će biti tamnije boje, dok je kod spljoštenih tjesnaca šum svjetlije boje. Zakrivljeni prolaz daje više vrtloga od ravnog prolaza. Najviše šumnog zvuka sadržavaju tzv. pravi suglasnici. Kod njih je prolaz zračnoj struji uži, a protok zraka veći zbog toga što glasnice propuštaju više zraka iz pluća (Škarić, 1991: 176, 177). Pravi suglasnici su suglasnici najnižeg stupnja zvonkosti. Osim što imaju najsuženiji prolaz zračnoj struji, u njih je napetost artikulatora najveća, napetost grkljana najslabija, a obujam izgovornih šupljina najmanji. U prave suglasnike ubrajamo i zvučne i bezvučne okluzive (Škarić, 1991: 133).

Šum također može označavati sinonim za buku. To su zvukovi s kojima se svakodnevno susrećemo u našem okruženju. Nekad je to zujanje kućanskog aparata ili šum prometa na ulici koji gotovo da i ne primjećujemo. Isto tako šumovi ponekad mogu omesti našu komunikaciju. Zbog njih ćemo možda promijeniti ton ili intenzitet našeg govora, a ako to ne učinimo dijelovi našeg iskaza možda neće biti razumljivi našim sugovornicima. Još u 13. stoljeću šum je definiran kao nepoželjan zvuk. Akustički je šum prvi definirao fizičar Hermann von Helmholtz u 19. stoljeću. Objasnio ga je kao zvuk neperiodičkih vibracija i usporedio ga sa zvukom glazbenih instrumenata koji, za razliku od šuma, vibriraju periodički (Truax, 1999b). Uz to, šum nema definirani osnovni ton pa ga možemo nazvati i neharmoničkim (Truax, 1999c). Dakle, možemo reći da je šum zvuk aperiodičnog gibanja i nedefiniranog osnovnog tona. Istraživanja o šumovima možemo pronaći u raznim granama znanosti, od medicine do strojarstva, a često se istražuje i interdisciplinarno. Postoje istraživanja koja se bave štetnim utjecajem šumova na sluh i zdravlje čovjeka. Međutim, također postoji interes za istraživanja (Ghasemi i sur., 2022) o izlaganju šumovima radi pospješenja koncentracije i pamćenja, radi smanjenja anksioznosti i stresa te radi liječenja tinitusa, ADHD-a, hiperakuzije i nesaničnosti.

Šumove razlikujemo po raspršenju njihove zvučne energije unutar spektra, pa ih po tom kriteriju dijelimo na širokopojasne (eng. *broad band noise*, *wide band noise*) i uskopojasne (eng. *narrow band noise*) (Truax, 1999d). Najznačajnije obilježje šuma kao zvuka jest njegova spektralna gustoća (eng. *power spectral density*), obilježje prema kojem određujemo boju šuma (Ghasemi i sur., 2022). Najpoznatiji je bijeli šum, zvuk koji najčešće asociiramo uz radijske ili televizijske smetnje u signalu. Bijeli šum vrsta je širokopojasnog šuma, što znači da obuhvaća široki raspon frekvencija, a njegov intenzitet jednak je na svim razinama. Drugim riječima, njegova spektralna gustoća ne ovisi o frekvenciji. U istraživanjima se njegov raspon obično proučava između 20 Hz i 20kHz (Zwicker i Fastl, 1999: 62). Filtriranjem bijeloga šuma na različitim frekvencijskim razinama dolazimo do drugih vrsta šumova, npr. rozi šum, u usporedbi s bijelim, ima utišane visoke frekvencije (Zwicker i Fastl, 1999: 62), a njegova spektralna gustoća smanjuje se za 3 dB po oktavi (Connaghan, 2021). Upravo se ova dva šuma u istraživanjima najčešće koriste kao maske za buku (Ghasemi i sur., 2022).

Analogija s bojama u kontekstu opisivanja šumova ne koristi se u svim situacijama sistematično (Truax, 1999e). Neovisno o tome, navest ćemo neke od najučestalijih boja pomoću kojih nazivamo razne šumova. Uz bijeli i rozi također postoje crveni odnosno smeđi šum (eng. *brown*, *Brownian*, *red noise*), plavi, sivi i crni šum. Oni su filtrirani dijelovi pojasa bijeloga šuma koji u sebi sadrži najširi raspon frekvencija. Crveni šum sačinjen je od niskih, dubokih frekvencija, a stišava se za 6 dB po oktavi zbog čega ima veću spektralnu gustoću od rozog šuma. Često se pogrešno naziva smeđim jer je ime dobio po Robertu Brownu, škotskom botaničaru iz 19. st. koji se bavio proučavanjem fluktuacije zvuka. Plavi šum pretežito je sačinjen od visokih frekvencija, a podiže se za 3 dB po oktavi. Sivi šum specifičan je po tome što je jednako glasan na svakoj frekvenciji. Njegova krivulja intenziteta ima oblik slova A, odnosno podsjeća na krivulje glasnoće u Fletcher-Munsonovoj skali. Crni šum popularno se naziva i zvukom tišine prema hit pjesmi glazbenog dua Simon&Garfunkel. Riječ je o šumu koji obuhvaća najniži dio spektra, a njegova spektralna gustoća iznosi 0 na svim frekvencijama (Connaghan, 2021). U svom su istraživanju Ghasemi i suradnici (2022) napravili pregled korištenja određenih boja šumova. Bijeli šum ima najširu uporabu: koristi se pri maskiranju buke, proučavanju prirodnih zvukova, liječenju tinitusa i ADHD-a, poboljšanju sna i kognitivnih funkcija, kao zvuk vozila hitnih službi te pri testiranju akustike zgrada i modeliranje fenomena okoliša. Drugi najkorišteniji šum jest rozi šum. Kao i bijeli šum koristi se za maskiranje buke, poticanje sna te

poboljšanja kognitivnih funkcija poput pažnje, koncentracije i pamćenja. Također se koristi u audioinženjerstvu, proučavanju zvukova ekosistema, psihoakustici te unutar medicine kao poticaj za lučenja hormona. Plavi šum koristi se kod *dithering-a*³ u programima za obradu zvuka kao i u računalnoj grafici. Smeđi, odnosno crveni šum ima široku primjenu u klimatskim znanostima i astronomiji, dok sivi šum koristimo u psihoakustici i pri liječenju hiperakuzije. Crni šum često se primjenjuje u glazbi, modeliranju procesa okoliša, u sustavima za kontrolu buke, a zbog toga što nas obično asocira na prirodne šumove našeg okruženja nazivamo ga i pozadinskom bukom svijeta (Ghasemi i sur., 2022).

2.4. Okluzivi

Čovjek pomoću svojih govornih organa može proizvoditi dvije vrste zvukova: periodične i aperiodične zvukove, odnosno šumove. Bezvučni konsonanti predstavljaju različite oblike šumova, dok zvučni konsonanti sadržavaju i periodične i aperiodične zvukove (Bakran, 1996: 13). Ova obilježja odnose se stoga i na kategoriju konsonanata koje nazivamo okluzivima. Okluzivi u hrvatskom jeziku su /p/, /t/, /k/, /b/, /d/, /g/ i mogu se nalaziti na početku, na kraju ili unutar riječi. Također mogu biti u neposrednom kontaktu sa svim hrvatskim fonemima, npr. unutar istoga sloga, iste riječi ili pak na granici riječi (Bakran, 1996: 58). Nazivamo ih još i pregradnim glasovima (Bakran, 1996) ili zatvornicima (Horga i Liker, 2016). "Okluzivi su jedini konsonanti koji se pojavljuju u svim jezicima svijeta, a čak 98% jezika ima konsonante /p/, /t/ i /k/" (Horga i Liker, 2016: 252). Iako gotovo isključivo imaju ulogu suglasnika, u rijetkim slučajevima, kao u jeziku *bella coola*, neki okluzivi mogu vršiti funkciju samoglasnika (Horga i Liker, 2016: 252).

Artikulacija svih glasnika odvija se u tri faze, a ona po kojoj se najbolje međusobno razlikuju jest faza držanja. Faza držanja podrazumijeva odvijanje artikulacijskog cilja izgovora određenog glasnika. Pojam artikulacijskog cilja uključuje dimenzije mjesta i načina izgovora, kao i dimenziju zvučnosti. Druge dvije faze, faza pripreme i faza opuštanja, odnose se na prijelazne pokrete govornih organa između dva različita glasnika. Ako je pak riječ o početku izgovora, u fazi pripreme govorni se organi kreću iz neutralnog položaja prema artikulacijskom cilju. Jednako tako u fazi opuštanja izgovorni se organi, nakon faze držanja, mogu vraćati u

³ „Audio dithering is the intentional application of low level noise to an audio file. The process of audio dithering helps to remove quantization distortion that occurs when reducing the bit depth of an audio file.“ (<https://www.izotope.com/en/learn/what-is-dithering-in-audio.html>, 9.5.2023.)

neutralan položaja jer se postignuti glasnik nalazi na kraju izgovora (Horga i Liker, 2016: 251). Okluzive po načinu artikulacije od drugih glasnika razlikuje stupanj suženja govornog prolaza: "Okluzivi ili zatvornici su konsonanti čija se faza držanja sastoji od potupne pregrade, koja sprečava prolaz zračnoj struji kroz usta, a istovremeno mekim se nepcem ne dozvoljava prolaz zračnoj struji kroz nos" (Horga i Liker, 2016: 252). Ta prepreka zračnoj struji uzrokuje potpunu okluziju u početnom dijelu njihova trajanja. Okluzija nije kratkotrajna, ona traje gotovo kao i jedan prosječan vokal. Mjesto artikulacije kod okluziva određuje se upravo prema mjestu gdje dolazi do zatvaranja fonacijskog toka. Kod zvučnih parnjaka /p/ i /b/ okluzija se tvori spajanjem usnica pa ih stoga nazivamo dvousnenima ili bilabijalima. Kod /t/ i /d/ prepreku u vokalnom traktu stvara jezik tako da vrhom dodiruje sjekutiće ili alveole te ih zato nazivamo zubno nadzubnima ili alveolarno dentalnima. Kod /k/ i /g/ stražnji dio jezika dodiruje meko nepce ili velum, pa ih stoga nazivamo mekonepčanim ili velarnim okluzivima (Bakran, 1996: 58).

Drugo artikulacijsko obilježje koje karakterizira ove glasove jest eksplozija do koje dolazi pri ponovnom otvaranju fonacijskog toka, odnosno nakon prestanka okluzije: "Zbog nemogućnosti prolaska zračne struje intraoralni se tlak (tlak zraka u ustima) povećava. Kada se na početku faze opuštanja brzo otvori okluzija, zrak naglo izlazi iz govornog trakta u kratku i čujnu eksploziju" (Horga i Liker, 2016: 252). Okluzivi se međusobno razlikuju upravo po zvuku u fazi opuštanja. Otvaranje prolaza zračnoj struji omogućuju tri vrste sila: "1. sila teža, 2. tlak zraka koji tijekom faze držanja raste iza mjesta zatvora zbog pritjecanja zraka iz pluća i 3. mišićne sile koje izvode pokret suprotan zatvaranju. [...] U bezvučnih je zatvornih suglasnika jača sila tlaka nego sila mišića otvarača, a u zvučnih obrnuto" (Škarić, 1991: 142, 143). Eksplozija okluziva je po svom spektralnom sastavu šum. Spektar šuma svakog okluziva, kao i njegovo trajanje, ovise o artikulatorima uključenima u stvaranje pregrade kod okluzije. Kod tromijih artikulatora šum eksplozije traje duže. Najkraću eksploziju stoga imaju bilabijalni, dok najdulju eksploziju imaju velarni okluzivi (Bakran, 1996: 59, 60). Zbog ovog se obilježja okluzivi ponekad nazivaju i eksplozivima (Horga i Liker, 2016: 252). Za vrijeme eksplozije ujedno i traje uključivanje izgovornog pokreta za naredni glasnik. Ovu značajku nazivamo vrijeme uključivanja glasa (VUG, eng. *voice onset time* – *VOT*). To je vrijeme između početka otvaranja govornog prolaza i početka uključivanja napetosti grkljana (Škarić, 1991: 143). Ova karakteristika posebno je značajna kada se okluziv nalaze ispred samoglasnika. Uključivanje samoglasničkog glasa vidljivo je u naglom pojačanju prvog formanta. VUG traje duže u

bezvučnih okluziva, u prosjeku 18 ms, dok u zvučnih traje prosječno 15 ms. Postoje i razlike u trajanju VUG-a s obzirom na izgovorno mjesto: kod bilabijala /p/ prosječno trajanje iznosi oko 15 ms, kod alveolara /t/ oko 19 ms, a kod velarnog /k/ iznosi u prosjeku 25 ms (Škarić, 1991: 211). Frekvencije šuma eksplozije ovise o veličini slobodnog prostora ispred izgovornog mjesta. U bilabijala šum je pojačan na niskim frekvencijama što je posljedica vrlo velikog slobodnog prostora iza mjesta pregrade, odnosno nedostatak slobodnog prostora ispred mjesta artikulacije. U /t/ i /d/ šupljina je ispred pregrade malena te su zbog toga u njihovoj eksploziji pojačane visoke frekvencije između 3500 i 5500 Hz. U velara je zbog većeg slobodnog prostora ispred mjesta artikulacije šum eksplozije pojačan na niskim frekvencijama. Spektar njihova šuma je najdifuzniji zbog nestalnog mjesta izgovora (Škarić, 1991: 199).

Škarić (1991: 128) ističe kako, uz bokocrtani prikaz artikulatora koji ukazuje na mjesto izgovora, širinu prolaza i veličinu otvora, treba uzeti u obzir i nacrtani oblik. Glasnici u nacrtanom presjeku teže ostvarivanju jednog od sljedećih oblika: okrugao, ovalan ili neutralan te spljošteni. "Okrugli oblici proizvode tamnije zvukove, a spljošteni svjetlije" (Bakran, 1991: 128). Okluzivi /p/ i /b/ smatraju se glasnicima okruglog nacrtanog oblika, /k/ i /g/ neutralnog, a /t/ i /d/ spljoštenog oblika. Škarić objašnjava kako se preko nacrtanog oblika svakog glasnika mogu objasniti pojave poput sibilizacije i palatalizacije jer dolazi do približavanja izgovornog mjesta (1991: 129). Jednako tako, "zamjene se u dječjem tepanju obilno ravnaju prema nacrtanim oblicima. Tako se, primjerice, /k/ i /g/ zamjenjuju sa /t/ i /d/, a gotovo nikad sa /p/ i /b/, koji su oblikom različiti (Bakran, 1991: 129).

Okluzive također možemo razlikovati po zvučnosti. Bezvučni hrvatski okluzivi su /p/, /t/ i /k/ dok su zvučni /b/, /d/, /g/ (Bakran, 1996: 58). Karakteristika po kojoj razlikujemo bezvučne od zvučnih nalazi se u prvom dijelu njihove realizacije, odnosno u okluziji. Dok kod bezvučnih okluziva okluzija podrazumijeva tišinu, kod zvučnih glasnice titraju i proizvode prigušen zvuk na najnižim frekvencijama (Bakran, 1996: 59, 70, 71). Čovjek ovaj prekid zvuka kod bezvučnih okluziva ne percipira kao tišinu, iako je ona po svom trajanju slična trajanju nekih drugih glasova. Isto tako, okluzija kod /p/, /t/ i /k/ može biti informativna samo za percepciju okluzivnosti, no ne i za njihovo međusobno razlikovanje. Kod /p/, /t/ i /k/ mišićna aktivnost koja potiče zrak iz pluća ne prestaje pa tako za vrijeme njihove okluzije raste pritisak u artikulacijskim šupljinama. Otvaranjem pregrade dolazi do eksplozije uslijed naglog prodiranja

zraka (Bakran, 1996: 59). Ta je eksplozija snažnija nego u zvučnih okluziva kod kojih aktivnost glasnica za vrijeme okluzije održava određenu ravnotežu tlakova ispod i iznad glasnica (Bakran, 1996: 71).

Kod okluziva u intervokalskom okruženju, koje ćemo koristiti u ovom istraživanju, važnu akustičku informaciju nose tranzijenti na prijelazu glasova. Njihov nagib nazivamo lokusom (Škarić, 1991: 199). Ako se radi o istim vokalima, vokalski tranzijenti koji prethode i slijede okluzive izgledaju identično. Ta simetrija nikada nije potpuna, što zbog vremenske organizacije okluziva koji se sastoje od dva različita zvuka, što zbog različitih uvjeta realizacije prvog i drugog vokala (Bakran, 1996: 68). Lokus okolnih vokala je u bilabijala zakrenut prema dolje što upućuje na "vrlo niske virtualne rezonantne frekvencije" (Škarić, 1991: 199) koje su rezultat velike šupljine iza mjesta pregrade. Kod /t/ i /d/ lokus je usmjeren prema sredini spektra jer je slobodni prostor iza izgovornog mjesta manji. Iz istog se razloga, zbog najmanje šupljine iza pregrade, u velara /k/ i /g/ lokus kreće prema visokim frekvencijama. Njihov lokus najviše mijenja svoj položaj u odnosu na okolne glasnike (Škarić, 1991: 199). Pokazalo se kako tranzijent F2 nosi puno više informacija od tranzijenta F1. Kod bezvučnog se okluziva /p/ lokus F2 kreće između 790 i 2000 Hz, za /t/ između 1100 i 2030 Hz, dok je za /k/ zvučna energija najraspršenija, između 870 i 2350 Hz. Varijabilni lokus u /k/, kao i raspršenje njegove zvučne energije u eksploziji, posljedica su najnestabilnijeg mjesta artikulacije (Bakran, 1996: 69, 70; Škarić, 1991: 199). Lokusi vokala koji okružuju zvučni /d/ kreće se između 1880 i 1150 Hz, odnosno unutar manjeg dijapazona nego kod /b/ (Bakran, 1996: 76). Kada spektrograme velarnog /g/ usporedimo sa spektrogramom alveolarnog /d/ uočavamo manje oštre rubove okluzije, ali i drastično variranje frekvencija početaka i kraja vokalskih tranzijenata. Ovisno o vokalskom okruženju, frekvencija varira između visokih 2250 Hz i niskih 600 Hz. Kao i kod njegovog zvučnog para, kod zvučnog se /g/ može zaključiti da je mjesto artikulacije znatno nestabilnije nego kod preostala dva zvučna okluziva (Bakran, 1996: 79). Bez obzira na individualne razlike, uočljiva je sličnost položaja i oblika tranzijenata u prijelazu sa zvučnih i u prijelazu s bezvučnih okluziva, što nije neobično s obzirom na korištenja istih govornih organa na istim dijelovima vokalnog trakta (Bakran, 1996: 82, 83).

2.5. Dosadašnja istraživanja okluziva

Okluzivi su detaljno opisana kategorija glasova, posebno u kontekstu engleskog jezika. Često su se istraživali akustički ili u funkciji percepcije, a na njihovu su primjeru postavljane i opovrgavane teorije o relevantnosti nekih akustičkih elemenata u percepciji govora (Bakran, Horga i Stamenković, 1992: 32). U ovom su poglavlju izneseni rezultati bitnih istraživanja na području percepcije okluziva u različitim jezicima.

Miller i Nicely (1955) proveli su istraživanje o percepciji 16 engleskih konsonanata u govoru filtriranom visokopojasnim i niskopojasnim propusnim filtrima, te u govoru maskiranog šumom. Unutar tih 16 konsonanata uključili su i zvučne i bezzvučne okluzive. Postavila se pretpostavka o tome koja artikulacijska obilježja utječu na razabirljivost određenih skupina glasova, odnosno njihov artikulacijski rejting (eng. *articulation rating*). Artikulacijska obilježja koja su Miller i Nicely uzeli u obzir pri ovoj analizi bili su zvučnost, nazalnost, frikcija, razlika u trajanju i mjesto artikulacije. Rezultati koji su bili posebno bitni za okluzive bili su obilježja zvučnosti te obilježja mjesta artikulacije, koja su istraživači podijelili na prednja, srednja i stražnja. Rezultati su pokazali kako je obilježje zvučnosti kod svih konsonanata, pa tako i kod okluziva, puno važnije za razabirljivost od mjesta artikulacije. Dok su se zvučni od bezzvučnih konsonanata uspješno razlikovali i u situacijama gdje je omjer signala i šuma bio -12 dB, mjesto artikulacije bilo je teško odrediti već na razlici od 6dB. Dio rezultata ovog eksperimenta također pokazuje kako će /p/ češće biti zamijenjen s /k/ nego s /t/ i obratno te da će se zvučni /b/ rijetko zamijeniti s /d/ ili /g/. Razlog koji se navodi kao najvažniji u prijenosu informacije o zvučnim okluzivima je lokus F2 na granici okluziva i vokala, dok je kod bezzvučnih važnije bilo raspršenje zvučne energije u trenutku eksplozije. U ovom se eksperimentu također pokazalo da širokopojasni šumovi koji obuhvaćaju i visoke i niske frekvencije bolje maskiraju više frekvencija glasova pošto su one češće manje informativne od nižih. Drugim riječima, primjena niskopropusnih filtera postigla je sličan efekt kao i primjena maske šuma. S druge strane, greške u prepoznavanju koje nastaju pri uporabi visokopropusnih filtara teško mogu biti sistematizirane.

Stevens i Blumstein (1978) istraživali su globalne akustične parametre prema kojima identificiramo mjesto artikulacije kod zvučnih okluziva. Postavljena je hipoteza da akustička obilježja poput spektra eksplozije i lokusa u CV slogovima treba gledati kao jedno jedinstveno akustičko obilježje, tj. stalno obilježje prema kojem identificiramo okluzive neovisno o njihovom

vokalnom okruženju. Za eksperiment su u Klatt-u sintetizirani CV slogovi koji su sadržavali zvučne okluzive i vokale /a i u/. Jedan set stimulusa sadržavao je samo lokus dok je drugi set sadržavao i eksplozije karakteristične za zvučne okluzive. Trajanje početka tranzijenta u prosjeku je bilo najkraće za /u/, srednje duljine za /i/ te najdulje za slogove s vokalom /a/. Tranzicije su također trajale kraće za slogove koji su sadržavali okluziv /b/, a dulje za slogove s okluzivom /g/. Stalna obilježja koja su se mogla povezati s identifikacijom navedenih okluziva odnosila su se na raspršenja spektra: difuzno padajući ili ravni spektar kod /b/, difuzni rastući spektar kod /d/ te kompaktno raspršenje kod /g/ koje se grupira oko srednjih frekvencija. Također je zaključeno kako nagib lokusa nije neophodan za precizno razlikovanje zvučnih okluziva. Blumstein i Stevens (1979) zaključili su kako eksplozija i lokus zajedno predstavljaju jedinstveno akustičko obilježje kod /b/, /d/ i /g/. Ponovo se potvrdilo kako akustička obilježja kod okluziva treba gledati sveobuhvatno (eng. *gross short-time spectral characteristics*), a ne individualistički (eng. *individual characteristics*). Početnih 10-20 ms CV slogova koji sadrže zvučne okluzive pokazalo se ključnima za identifikaciju ne samo mjesta artikulacije okluziva, već, u većini slučajeva, i za identifikaciju nadolazećih vokala. Lokus se ponovo pokazao kao sekundarno obilježje. Opažanje koje valja istaknuti jest da se velarni /g/ lakše identificirao ako je početak sloga trajao dulje od 10-20 ms, što sugerira da je potrebno više vremena za postizanje centraliziranijeg, odnosno manje raspršenog spektra.

Data, Ganguli i Ray (1980) ispitivali su razlikovanje osam neaspiriranih okluziva telugu jezika pomoću sustava za automatsko prepoznavanje govora (eng. *automatic speech recognition, ASR*). Cilj istraživanja bio je ispitati prepoznavanje mjesta artikulacije na temelju prva dva formanta na prijelazima iz okluziva u vokal. Drugo obilježje koje su Data, Ganguli i Ray uzeli u obzir bili su pokreti jezika pri artikulaciji okluziva. Rezultati su ponovo potvrdili kako je vrijeme trajanja tranzicija između okluziva i vokala ključno za raspoznavanje mjesta artikulacije. Prepoznavanje okluziva bilo je uspješnije ako je sustavu imao informaciju o nadolazećem vokalu. Najbolje su prepoznati zvučni velarni i bilabijalni okluzivi, u prosjeku 90% primjera. Pretpostavilo se kako su se dvousnjeni okluzivi uspješnije prepoznavali zbog neuključivanja jezika u njihovu artikulaciju, koji stoga ima više vremena za postizanje lokusa vokala što rezultira manjim variranjem tranzicija formanta. Dakle, stabilnost formanta navodi se kao razlog boljeg prepoznavanja bilabijala. Alveolarni i dentalni okluzivi bili su slabije prepoznati, a

u većini slučajeva ih je sustav međusobno miješao. Osim u slučaju mekonepčanih okluziva, sustav za automatsko prepoznavanje govora bolje je detektirao zvučne od bezvučnih glasova.

Bakran, Horga i Stamenković (1992) istraživali su percepciju mjesta artikulacije kod bezvučnih intervokalskih okluziva. Svrha rada bila je provjera komplementarnosti pojedinih akustičkih obilježja, kao i utjecaj pojedinačnih trajanja tih obilježja na percepciju bezvučnih okluziva. Stimulusi koji su se koristili u istraživanju bili su VCV logatomi jednakog početnog i završnog vokala. Svaki je snimljen u dvije varijante: jedna s naglaskom na početnom, a druga s naglaskom na zadnjem slogu. Snimljeni materijal potom je segmentiran na sljedeće cijeline: prvi vokal do tišine okluzije, šum eksplozije od tišine okluzije do prvog perioda laringalnog tona i drugi vokal od početka laringalnog tona do kraja trajanja. Kombiniranjem segmentiranih dijelova signala stvoreni su novi test-signalni.

Samo na temelju prvog vokala najbolje je prepoznat okluziv /p/, što su Bakran, Horga i Stamenković protumačili kao posljedicu zakrivljenosti tranzijenta – što je zakrivljenost veća, to je veća i njihova informativnost. Iako je ustanovljeno kako samo početni vokal nije dovoljan za uspješnu identifikaciju okluziva, glas /p/ bio je prepoznat u čak 92.4% slučajeva. Također je ustanovljeno kako uspješnost prepoznavanja glasa /k/ ovisi o njegovu vokalskom kontekstu, a najbolje je bio prepoznat u okruženju vokala /a/.

Šum eksplozije kao zaseban akustički signal pokazao se kao dostatan za ispravnu identifikaciju okluziva u čak 95% slučajeva. Pri tome se najbolje identificirao glas /k/, a najgore glas /t/. Ovdje treba podsjetiti kako su u ovom eksperimentu ispitanici slušali čitav segment od početka eksplozije do prvog laringalnog impulsa sljedećeg vokala, zbog čega je percepcija okluziva bila bolja nego u drugim sličnim istraživanjima gdje se šum segmentirao na kraće dijelove. Zanimljivo je istaknuti i da su na temelju šuma /k/ najuspješnije percipirani nadolazeći vokali. Kao potencijalni razlozi ukodiranosti boje nadolazećeg vokala u šum ovog okluziva navodi se najdulje trajanje šuma eksplozije kao i njegov visok stupanj koartikulacije.

Bezvučni okluzivi najslabije su prepoznati u signalima koji su sadržavali samo drugi vokal, odnosno segment prvog laringalnog impulsa s vokalskim tranzijentima. Međutim, i u ovom je slučaju glas /p/ prepoznat najbolje, točnije u 80.4% slučajeva. Što se tiče vokalskog konteksta, ustanovljeno je kako on najmanje djeluje na identifikaciju /p/, kako se /t/ loše

identificira u kontekstu prednjih vokala te kako se /k/ najuspješnije prepoznaje prema tranzijentu /a/, a zatim /e/ i /i/.

U eksperimentu gdje je iz logatoma izuzet šum eksplozije i dalje je najbolje bio prepoznat /p/, a /k/ je ponovo najbolje prepoznat u kontekstu vokala /a/. U slučajevima kada je početni i završni vokal preuzet iz dva različita logatoma zaključeno je kako se u načelu jača informacijska obavijest nalazi u vokalu iza okluziva nego u početnom vokalu. To jedino nije vrijedilo u slučaju glasa /k/ čiji tranzijenti nisu toliko informativni koliko tranzijenti /p/ i /t/.

Hant, Strope i Alwan (1997) proveli su istraživanje u kojem su bezvučne okluzive maskirali bijelim šumom. Cilj je bio pronaći model po kojem bi se greške pri percepciji okluziva u prisustvu šuma kvantificirale, odnosi pronaći model za predviđanje praga čujnosti za maskirane bezvučne okluzive. Parametri koje su uzeli u obzir pri određivanju praga čujnosti za šum, odnosno eksploziju okluziva bili su trajanje, širina pojasa i centralna frekvencija. Analiza govornog materijala podudarala se s parametrima koje su 1978. godine ustanovili Blumstein i Stevens za zvučne okluzive, a ta je je kompaktnost spektra kod velarnih, difuzno rastući spektar kod alveolarnih te difuzno padajući spektar kod bilabijalnih okluziva. U jednom su se eksperimentu kao stimulusi koristili sintetizirani okluzivi u trajanju od 10, 30, 100 i 300 ms, dok su se u drugom koristili prirodni, tj. izgovoreni okluzivi u trajanju od 10 ili 30 ms zvuka šuma. Maskiranje je u oba eksperimenta bilo simultano. Maska je bio bijeli šum u trajanju od 750 ms i intenziteta 56 dB. Rezultati su pokazali kako je kratkotrajna eksplozija od svega 10 ms dovoljna za identifikaciju mjesta artikulacije bezvučnih okluziva, odnosno da ljudskom uhu nisu potrebne detaljne informacije o spektralnom obliku eksplozija okluziva. Općenite informacije o spektru, kao što je koncentracija zvučne energije na višim ili nižim frekvencijama, zadržana je unutar tog kratkog vremena i dovoljna je za identifikaciju mjesta artikulacije. Najviše grešaka pojavilo se kod identifikacije prirodnog /k/ u trajanju od 30 ms. Potencijalno objašnjenje lošije identifikacije ovog glasa moglo bi ovisiti o stabilnosti i kontinuitetu njegova spektralnog oblika koje je podložno promijeni u vremenu za razliku od sintetiziranih glasova.

Tek jedno od svih navedenih istraživanja u ovom poglavlju odnosi se na hrvatski jezik. Iako su određena akustička obilježja univerzalna, bitno je napomenuti kako primjerice u engleskom postoje bezvučni okluzivi za vrijeme čijeg trajanja okluzije glasnice titraju kao i okluzivi koji kao popratno obilježje imaju aspiraciju na kraju svoje realizacije. Hrvatski okluzivi

dijele drugačija obilježja te se stoga VUG u hrvatskom smatra segment od trenutka eksplozije do početka vibriranja glasnica kod bezvučnih okluziva. U engleskom je ovaj fenomen ključan u raspoznavanju zvučno – bezvučnih okluziva jer okluzija kod zvučnih okluziva ne mora uključivati prisustvo laringalnog tona (Bakran, 1996: 60).

3. CILJ I HIPOTEZE

Glavni cilj ovog istraživanja bio je testirati koji su hrvatski okluzivi rezistentniji na maskiranje šumom s obzirom na njihova artikulacijska i akustička svojstva. S obzirom na rezultate dosadašnjih istraživanja, navedenih u prethodnom poglavlju, u radu su se postavile sljedeće hipoteze:

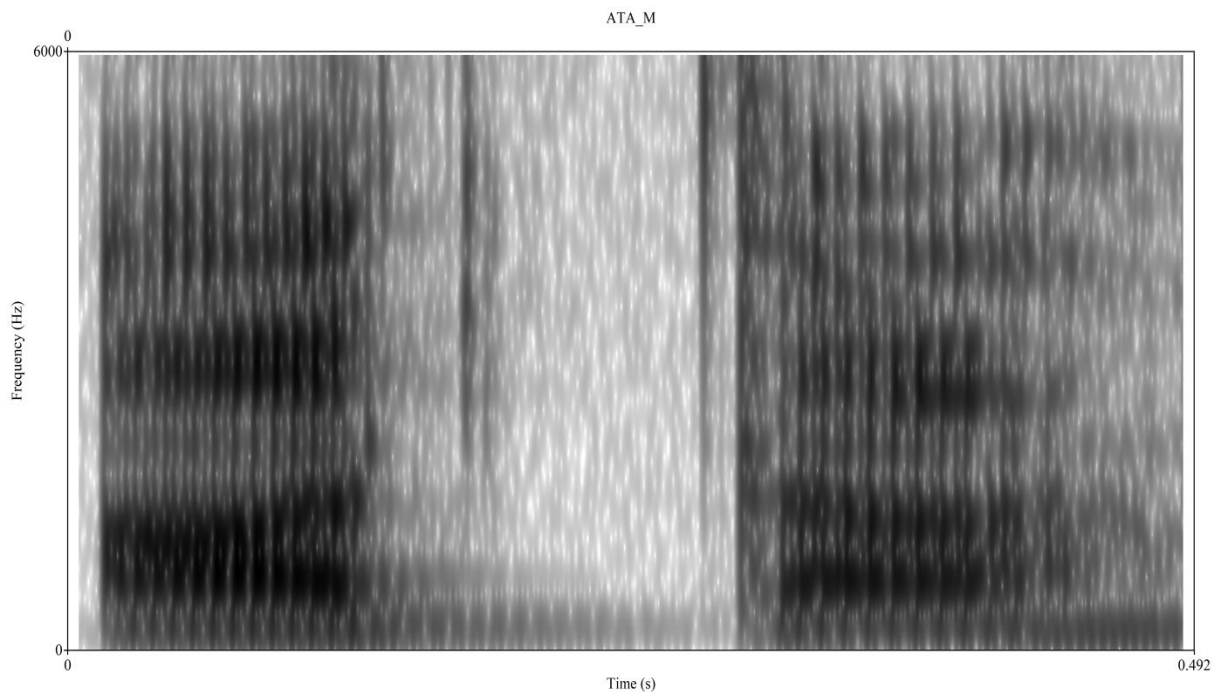
- 1) bilabijalni okluzivi bit će rezistentniji na maskiranje od alverolarnih i velarnih okluziva koji imaju nestabilnije mjesto artikulacije;
- 2) zvučni okluzivi bit će rezistentniji na maskiranje od bezvučnih okluziva.

4. METODA

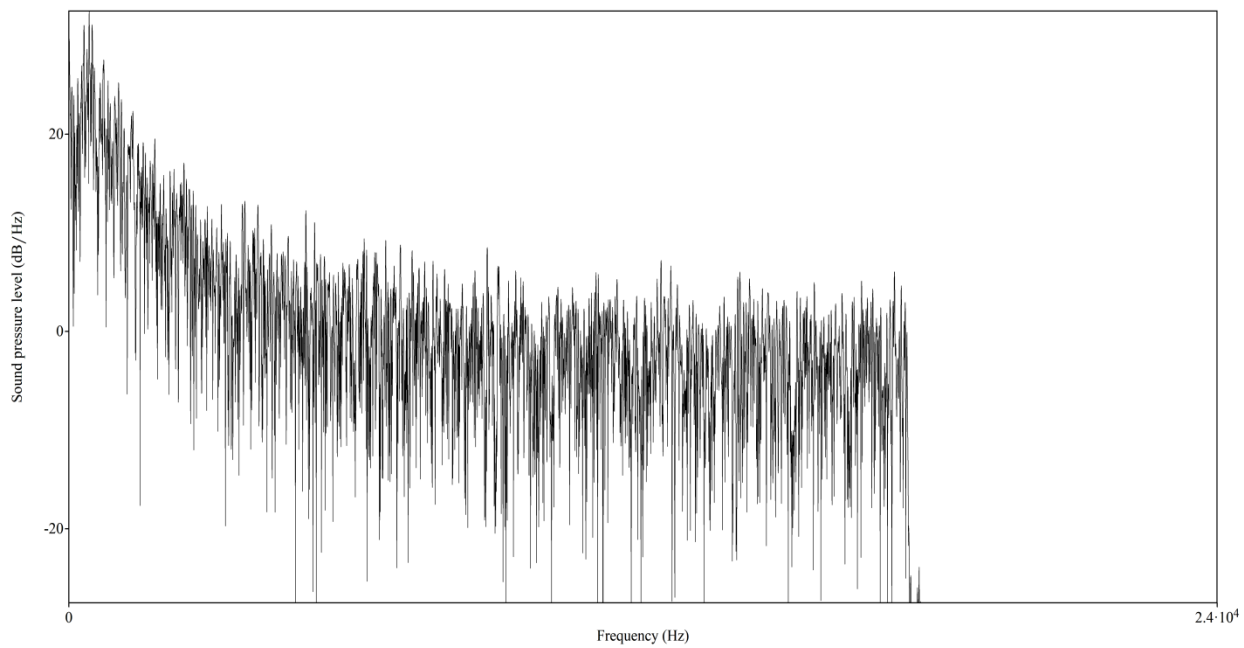
U ovom poglavlju opisuju se detalji o materijalu, ispitanicima i provedbi istraživanja. Cilj je bio provjeriti prethodno postavljene hipoteze kroz kvantitativno istraživanje. Nacrt istraživanja odobren je od strane Etičkog povjerenstva Odsjeka za fonetiku na provedbu istraživanja s ljudima.

4.1. Materijal

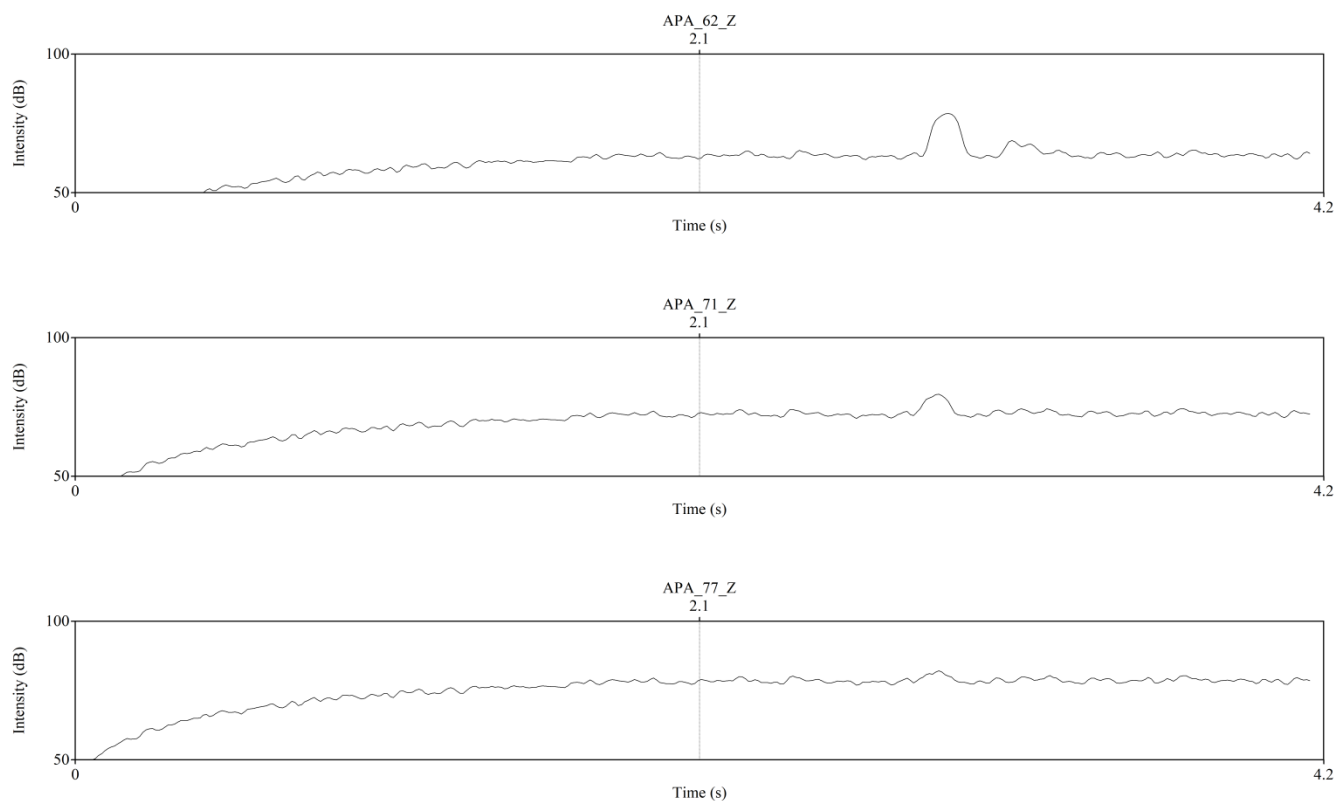
Mjerni instrument sastojao se od kreiranih zvučnih stimulusa (zvučni materijal) te upitnika koji su ispitanici ispunjavali pri slušanju metodom papir/olovka (v. Prilog A). Zvučni stimuli sastojali su se od signala i maske. Signali su bili bezznačenjske dvosložne riječi (logatomi) koje su se sastojale od bezvučnih i zvučnih okluziva u okruženju vokala /a/, tj. riječi /apa/, /aba/, /ata/, /ada/, /aka/, /aga/. Logatomi su snimljeni u izgovoru muškog i ženskog govornika odrasle dobi, ugodnoga glasa i s dobrom dikcijom u Studiju za akustička snimanja Odsjeka za fonetiku. Signal je potom razdvojen na zasebne logatome u programu Praat (sveukupno 12 zvukova) i sveden na jednaki intenzitet od 74 dB. Maska je bila širokopojasni šum raspona 18 kHz, koji je odabran zbog svoje spektralne gustoće, tj. jednakog intenziteta na svim svojim frekvencijama, što je uvjetovalo da svi dijelovi govornog zvuka budu jednako dobro maskirani. Svaki signal maskiran je šumom intenziteta 62, 65, 68, 71, 74 i 77 dB. Signali i maske spojeni su u jedinstvene stimulse u programu za montažu slike i zvuka Adobe Premier Pro CC 2019. Maska, čije je trajanje prije početka signala iznosilo 2.75 sekundi, se od početka svog trajanja postepeno pojačavala, dok je u preostalom vremenu nakon završetka signala ostala jednakog intenziteta. Materijal se sastojao od ukupno 72 stimulusa. Za ilustraciju, na Slici 1. vizualno je prikazan primjer /ata/ muškog glasa bez maske. Na Slici 2. prikazana je spektralna ovojnica maske od 62 dB. Na Slici 3. prikazane su krivulje intenziteta za stimulse ženskog glasa različitog intenziteta maske.



Slika 1. Spektrogram za /ata/ muškog glasa



Slika 2. Spektralna ovojnica maske intenziteta 62 dB.



Slika 3. Krivulje intenziteta za /apa/ ženskog glasa maskirani šumom od 62, 71 i 77 dB

Treba napomenuti kako je svaki stimulus bio prezentiran zasebno nasumičnim redom. Za testiranje percepcije slušnog materijala napravljen je upitnik koji je od ispitanika tražio da zapiše riječ koju je čuo na praznu crtu kraj broja primjera. U Prilogu A nalaze se prve tri stranice upitnika od ukupno šest stranica (jer su pitanja za 72 stimulusa bila jednaka).

4.2. Ispitanici

U ovom perceptivnom eksperimentu sudjelovalo je ukupno 24 ispitanika (19 žena i 5 muškaraca), prosječne dobi od 25 godina, u rasponu od 19 do 28 godina. Sudionici su bili studenti Sveučilišta u Zagrebu, ponajviše studenti Filozofskog fakulteta. Svaki od ispitanika sudjelovao je u eksperimentu samostalno u dogovorenom vremenskom terminu u prostorima Odsjeka za fonetiku. Poziv na eksperiment slao se putem maila studentima fonetike te usmenim putem. Ispitanici su netom prije provođenja eksperimenta upoznati s istraživanjem (v. Prilog B) te su potpisali suglasnost za sudjelovanje (v. Prilog C). Svi ispitanici bili su osobe urednog sluha.

4.3. Tijek eksperimenta

Ispitivanje je provedeno u zasebnom terminu za svakog ispitanika. Ispitanici su pri dolasku na svoj termin pročitali informacije o istraživanju (v. Prilog B) u kojima im nije otkriveno kako se eksperiment provodi isključivo na okluzivima, već da je riječ o hrvatskim glasovima općenito. Na taj se način htjelo postići da pozornost nije usmjerena samo na jednu skupinu glasova čime bi se povećala predvidljivost odgovora. Svaki ispitanik sudjelovao je na eksperimentu otprilike 20 minuta. Zvučni stimulusi reproducirani su pomoću računala Lenovo Ideapad Gaming i slušalica Grado Labs SR60. Postavke jačine zvučnika na računalu preko kojeg su se puštali stimulusi bile su istovjetne za sve sudionike eksperimenta te nikome nisu izazivale bol ili neugodu. Primjer upitnika koji su ispunjavali ispitanici (mjerni instrument) nalaze se na kraju ovog rada u Prilozima.

Bitno je istaknuti kako u ovom eksperimentu nije bio prisutan faktor razabirljivosti. Signali su bile govorne riječi bez značenja, a vizualna komponenta izostala je zbog toga što su ispitanici podražaj primali isključivo putem slušalica. Također, svi okluzivi nalazili su se u jednakom vokalskom okruženju tako da se nije razmatrao niti faktor različitih glasovnih okruženja.

5. REZULTATI I RASPRAVA

U Tablici 1 prikazani su objedinjeni rezultati za sve stimulse, 288 odgovora po okluzivu, neovisno o spolu govornika i o intenzitetu maske. Iz tablice je vidljivo kako je okluziv koji je bio najbolje identificiran u prisustvu maske bio bezvučni bilabijalni /p/, a identične rezultate postigao je i bezvučni velarni /k/. Najlošije je bio prepoznat zvučni alveolarno dentalni /d/ s najnižih 160 točnih odgovora, a drugi nakon njega bio je zvučni velarni /g/ sa 187 točnih odgovora.

Tablica 1. Prikaz broja točnih odgovora za pojedine okluzive

	Odgovori ispitanika						
	/p/	/t/	/k/	/b/	/d/	/g/	drugo
Stimulusi							
/p/	254	2	8	13	0	0	11
/t/	22	196	22	3	6	8	31
/k/	10	11	249	1	1	4	12
/b/	40	3	3	233	1	2	6
/d/	2	10	1	29	160	78	8
/g/	6	1	13	11	25	187	45*

U Tablici 2 rezultati eksperimenta prikazani su u postocima i uspoređeni po kategorijama mjesta artikulacije i zvučnosti.

Tablica 2. Prikaz postotka točnih odgovora s obzirom na zvučnost i mjesto artikulacije

	Zvučnost		Mjesto artikulacije		
	bezvučni	zvučni	bilabijalni	alveolarno dentalni	velarni
Točni odgovori	81 %	67 %	85 %	62 %	76 %

Na temelju rezultata prikazanih u Tablici 2 možemo reći kako se prva hipoteza ovoga rada potvrdila, odnosno da su bilabijalni okluzivi rezistentniji na maskiranje jer su ukupno

točnije percipirani od ostatka ove skupine glasnika. Iako je u Tablici 1 gdje su prikazani rezultati za pojedine glasnike vidimo da je /k/ bio točno identificiran više puta od /b/ podaci za cijelu skupinu idu u prilog tezi. Objašnjenje ovakvih rezultata za bilabijale može se tražiti u obilježju koje ističu Bakran, Horga i Stamenković (1992), a to je zakrivljenost tranzijenata na prijelazu između vokala i okluziva. Rezultati se također mogu pripisati stabilnosti njihovih formanata (Data i sur., 1980). Dobro prepoznavanje glasnika /k/ može se povezati s vokalskim okruženjem koje se u prethodnim istraživanjima pokazalo kao optimalno za identifikaciju ovog okluziva (Bakran, Horga i Stamenković sur., 1992). Dobiveni rezultati statistički su obrađeni kroz dva hi-kvadrat testa. Nul hipoteza za prvi test bila je da ne postoji statistički značajna razlika između broja točnih odgovora u bilabijala i alveolara/dentala. Ako je $\sum \chi^2 = 20.36$, a $df = 1$, dobit ćemo da je razina statističke značajnosti manja od 1%. Nul hipoteza za prvi hi-kvadrat test je odbačena i ustanovljeno je kako postoji statistički značajna razlika između broja točnih odgovora u bilabijala i alveolara/dentala. Nul hipoteza za drugi hi-kvadrat test bila je slična prvoj: ne postoji statistički značajna razlika između broja točnih odgovora u bilabijala i velara. Ako primijenimo isti postupak, dobit ćemo da je $\sum \chi^2 = 2.82$, $df = 1$, te da je razina statističke značajnosti veća od 5% zbog čega je nul hipoteza potvrđena. Razlika između prepoznavanja bilabijala i velara nije statistički značajna. Možemo zaključiti kako bolje prepoznavanje bilabijalnih okluziva nije slučajno već postoji direktna korelacija s njihovima akustičkim i artikulacijskim svojstvima. Što se tiče glasnika /k/, iako je njegovo mjesto artikulacije nestabilno, a stupanj koartikulacije visok, u ovom istraživanju /k/ je prepoznat u 86% slučajeva. Ovakvi rezultati ukazuju na to da raspršenje zvučne energije u spektru eksplozije kod velarnog bezvučnog /k/ nije obilježje koje utječe na njegovo prepoznavanje u šumnom okruženju.

Druga hipoteza ovoga istraživanja nije potvrđena, odnosno zvučni okluzivi nisu se pokazali rezistentnijima na maskiranje. S obzirom na to da je ova hipoteza postavljena na temelju rezultata dobivenih u istraživanjima koja nisu provedena na hrvatskom jeziku (Miller i Nicely, 1955, Data i sur., 1980) jedna od mogućih pretpostavki jest da ovi rezultati odražavaju specifičnost hrvatskih okluziva. No, odgovor koji se doima uvjerljivijim nalazi se u specifičnoj razlici izgovora glasnika /d/ dvaju govornika snimljenih za ovo istraživanje. Naime, kada se uspoređi izgovor istih okluziva kod muškog i ženskog govornika vidljivo je da je jedino kod /ada/ ženski okluziv bio značajno manje rezistentan od muškog, a i značajno manje rezistentan u odnosu na sve druge okluzive ove govornice (Tablica 3).

Tablica 3. Prikaz postotka točnih odgovora za stimulse muškog i ženskog govornika

	/p/	/t/	/k/	/b/	/d/	/g/
Ž	93 %	58 %	92 %	85 %	28 %	68 %
M	83 %	78 %	86 %	77 %	87 %	62 %

Činjenica da je ženski /d/ bio najmanje rezistentan okluziv od svih glasnika u ovom istraživanju navodi na razmišljanje o tome da je izražajni izgovor /d/ u muškog govornika pogodovao prepoznavanju ovog glasnika. Okluziv /d/ je u primjerima ženskog glasa najčešće bio zamijenjen glasnikom /g/ (Tablica 1), dok je kod izgovora /g/ čest odgovor bio /adga/ koji je u Tablici 1 uvršten pod drugo. Ovakvi rezultati sugeriraju kako je potrebno prikupiti više uzoraka i muškog i ženskog glasa na kojima bi se sigurnije ustanovilo je li /d/ slabo rezistentan na zvuk šuma ili je izgovor govornice u ovom eksperimentu na neki način bio atipičan.

Tablica 4. Prikaz broja točnih odgovora za pojedine okluzive s obzirom na intenzitet maske

	Intenzitet maske					
	62 dB	65 dB	68 dB	71 dB	74 dB	77 dB
Stimulusi						
/p/	48	46	48	44	30	38
/t/	46	39	37	35	23	16
/k/	48	46	47	43	37	28
/b/	48	48	47	45	34	11
/d/	33	32	31	29	21	14
/g/	45	40	33	31	25	13

U Tablici 4 prikazan je broj točnih odgovora po okluzivu s obzirom na intenzitet maske. Od sveukupno 48 primjera po glasniku, 24 muška i 24 ženska, u tablici je naveden broj točnih odgovora za svaki okluziv. Iz ovih je podataka ponovo vidljivo kako je /p/ najuspješnije identificirani okluziv, čak i u prisustvu najglasnije maske od 77 dB. Štoviše, okluziv /p/ više je puta uspješno identificiran u prisustvu najglasnije maske nego okluziv /d/ u prisustvu najtiše

maske. Osim /p/ neočekivano dobre rezultate u prisustvu najglasnije maske ostvario je i glasnik /k/ koji je bio prepoznat 28 puta. Poznatno je da intenzitet maske utječe na prepoznavanje signala, odnosno da glasna ili vrlo glasna maska uspješno prekriva signal (Bakran, 1999) zbog čega ove rezultate možemo protumačiti kao očekivane.

Rezultati ovog istraživanja ukazuju na to da je okluziv /p/ najrezistentniji hrvatski okluziv na maskiranje šumom. Još jedan podatak koji možemo istaknuti kao neočekivani nalazi se upravo kod tog okluziva. Razina prepoznavanja svih glasnika generalno se kreće u očekivanom smjeru – što je maska glasnija, to je teže bilo prepoznati logatom koji govornik ili govornica izgovara. Međutim, kod maske od 74 dB /p/ je bio prepoznat lošije nego kod maske od 77 dB za 8 odgovora. Većina pogrešnih odgovora za ovaj primjer, njih 14 od 18, dogodila su se pri slušanju maskiranog logatoma muškog govornika. Ovi podaci možda ukazuju na to kako je u hrvatskom, u suboptimalnim komunikacijskim uvjetima, lakše prepoznati /p/ ženskog nego muškog glasa. Međutim, jednako kao i u primjeru okluziva /d/, potrebno je provesti daljnja istraživanja na većem broju muških i ženskih govornika kako bi se ustanovilo je li riječ o specifičnosti hrvatskih okluziva ili pak individualnim razlikama izgovora /p/ govornika koji je sudjelovao u ovom istraživanju.

Istraživanja koja su spomenuta u ovom radu unutar teorijskog okvira razlikuju se od ovog u nekoliko aspekata. Za početak, u ovom istraživanju okluzivi nisu bili segmentirani, već su se njihova artikulacijska obilježja gledala globalno. Maskirani su u cijelom svom trajanju bez da se dodatno isticala njihova eksplozija, VUG ili lokus. Ovakav bi pristup stoga bio u skladu s opažanjima Blumsteina i Stevensa (1979) koji na kratke i brze promjene koje se odvijaju u eksploziji okluziva gledaju kao na jedinstveno akustičko obilježje. Ono što također izostaje u ovom eksperimentu jest proučavanje okluziva u različitom vokalskom okruženju. Za kraj treba napomenuti i kako su istraživanja koja su služila kao temelj ovome radu bila perceptivna istraživanja koja se nisu bavila maskiranjem. Bez obzira na to, obilježja koja utječu na međusobno razlikovanje (percepciju) okluziva mogu poslužiti za postav istraživanja o maskiranju istih jer je maskiranje fenomen koji utječe na percepciju.

6. ZAKLJUČAK

Okluzivi su glasnici koje čovjek može dobro prepoznati čak i u uvjetima kada komunikaciju ometa buka nalik širokopojasnom šumu. To vrijedi i za okluzive hrvatskog jezika koji su u ovom istraživanju bili uspješno percipirani u primjerima u kojima je šum maske bio tiši (do 71 dB, a neki i do 74 dB). Iznimka je bio zvučni alveolarni /d/ ženskog govornika kojeg su ispitanici u ovom istraživanju najteže prepoznavali. Ovakav rezultat odražava ili specifičnost hrvatskog jezika ili specifičnost izgovora glasnika /d/ kod govornice koja je sudjelovala u istraživanju. Kako bi se ova teza potvrdila ili opovrgnula predlaže se provođenje daljnjih ispitivanja na ovom okluziva na većem broju uzoraka muškog i ženskog glasa.

Okluziv koji se pokazao kao najrezitentniji bio je bezvučni bilabijalni /p/ koji je prepoznat u 88% slučajeva. Pošto je njegov zvučni pranjak /b/ također ostvario dobre rezultate, prepoznat u 80% slučajeva, potvrđena je hipoteza kako će bilabijali biti uspješno percipirani zbog zakrivljenosti tranzijenata i stabilnosti njihovih formanata. Uz bilabijale dobro je prepoznat i zvučni velarni /k/, što možemo pripisati vokalskom okruženju, odnosno vokalu /a/ koji pogoduje prepoznavanju ovog okluziva.

Za kraj treba podsjetiti kako su u ovom istraživanju kao signali korišteni VCV logatomi, odnosno bezznačenjske riječi. Može se pretpostaviti kako se u stvarnim suboptimalnim komunikacijskim uvjetima, uvjetima u kojima se okluzivi pojavljuju kao dio smislenog konteksta, ovi glasnici identificiraju bolje od rezultata prikazanih u ovom istraživanju. Dakle, semantika uvelike pomaže razabirljivosti svih glasnika, pa tako i okluziva. Za daljnja istraživanja predlaže se ispitivanje rezistentnosti hrvatskih okluziva u drugačijem vokalskom okruženju te na većem broju primjera i muških i ženskih glasova.

7. LITERATURA

Bakran, J. (1999). *Maskiranje*. URL:

<https://fonet.ffzg.unizg.hr/djelatnici/bakran/psi/maskiranje/maska.html> (pristupljeno: 7.9.2023.)

Bakran, J. (1996). *Zvučna slika hrvatskoga govora*. Zagreb: Ibis grafika.

Bakran, J., Erdeljac, V., i Lazić, N. (2000). Analiza zvučnog okruženja. *Govor*, 17(1), 29-48.

Bakran, J., Horga, D., i Stamenković, M. (1992). Percepcija mjesta artikulacije bezvučnih okkluziva. *Govor*, 8(1-2), 31-47.

Blumstein, S. E. i Stevens, K. N. (1979). Perceptual invariance and onset spectra for stop consonants in different vowel environments. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 67(2), 648-662.

Connaghan, T. (2021). *The Difference Between Types Of Noise*. URL:

<https://emastered.com/blog/different-types-of-noise> (pristupljeno 3.9.2023.)

Data, A., Ganguli, N., i Ray, S. (1980). Recognition of unaspirated plosives – A statistical approach. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 28(1), 85-91.

De Cheveigne, A. (2005). Pitch perception models. *Pitch: Neural coding and perception* (169-233). New York, NY: Springer New York.

Eimas, P. D., Siqueland, E. R., Jusczyk, P. i Vigorito, J. (1971). Speech perception in infants. *Science*, 171(3968), 303-306.

Ghasemi, S., Fasih-Ramandi, F., Monazzam-Esmaelpour, M. R. i Ardakani, S. K. (2022). Different Colors of Noise and Their Application in Psychoacoustics: A Review Study. *Journal of Health and Safety at Work*, 12(3), 459-482.

Hant, J. J., Strobe, B. P., i Alwan, A. (1996). A Psychoacoustic model for the noise masking of voiceless plosive bursts. *Proceeding of Fourth International Conference on Spoken Language Processing. ICSLP'96*, (Vol. 1), 570-573.

Hant, J. J., i Alwan, A. (2000). Predicting the perceptual confusion of synthetic stop consonants in noise. *ICSLP*, (Vol. 3), 941-944.

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

iZotope (2023). *What Is Dithering in Audio?* URL: <https://www.izotope.com/en/learn/what-is-dithering-in-audio.html> (pristupljeno 9.5.2023.)

Kuhl, P. K. (2004). Early language acquisition: cracking the speech code. *Nature reviews neuroscience*, 5(11), 831-843.

Loui, P. i MacCallum, J. (2019). *Unit 3: Fundamentals of Psychoacoustics*. Music Technology Online Repository. URL: <https://mutor-2.github.io/ScienceOfMusic/units/03/> (pristupljeno 7.9.2023.)

Miller, G. A. i Nicely, P. E. (1955). An analysis of perceptual confusions among some English consonants. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 27(2), 338-352.

Miyawaki, K., Jenkins, J. J., Strange, W., Liberman, A. M., Verbrugge, R. i Fujimura, O. (1975). An effect of linguistic experience: The discrimination of [r] and [l] by native speakers of Japanese and English. *Perception & Psychophysics*, 18(5), 331-340.

Pierce, J. R. i David, E. E. (1958). *Man's world of sound*. New York, Garden city: Doubleday Company.

Plack, C. J. i Oxenham, A. J. (2005). The psychophysics of pitch. *Pitch: Neural coding and perception* (7-55). New York, NY: Springer New York.

Stevens, K. N. i Blumstein, S. E. (1978). Invariant cues for place of articulation in stop consonants. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 64(5), 1358-1368.

Stevens, S. S. i Davis, H. (1960). Chapter 8: Auditory masking, fatigue and persistence. U *Hearing; Its Psychology and Physiology*, 208-224. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Truax, B. (Ur.). (1999a). *Handbook for acoustic ecology (Second Edition)*. Cambridge Street Publishing. URL: https://www.sfu.ca/sonic-studio-webdav/handbook/Critical_Band.html (pristupljeno 9.5.2023.)

Truax, B. (Ur.). (1999b). *Handbook for acoustic ecology (Second Edition)*. Cambridge Street Publishing. URL: <https://www.sfu.ca/sonic-studio-webdav/handbook/Noise.html> (pristupljeno 25.4.2023.)

Truax, B. (Ur.). (1999c). *Handbook for acoustic ecology (Second Edition)*. Cambridge Street Publishing. URL: <https://www.sfu.ca/sonic-studio-webdav/handbook/Periodic.html> (pristupljeno 25.4.2023.)

Truax, B. (Ur.). (1999d). *Handbook for acoustic ecology (Second Edition)*. Cambridge Street Publishing. URL: https://www.sfu.ca/sonic-studio-webdav/handbook/Broad_Band_Noise.html (pristupljeno 25.4.2023.)

Truax, B. (Ur.). (1999e). *Handbook for acoustic ecology (Second Edition)*. Cambridge Street Publishing. URL: https://www.sfu.ca/sonic-studio-webdav/handbook/White_Noise.html (pristupljeno 25.4.2023.)

Werker, J. F., & Tees, R. C. (1984). Cross-language speech perception: Evidence for perceptual reorganization during the first year of life. *Infant behavior and development*, 7(1), 49-63.

Yost, W. A. (2015). Psychoacoustics: A brief historical overview. *Acoustics Today*, 11(3), 46-53.

Zwicker, E., Fastl, H. (1999). *Psychoacoustics: facts and models*. Berlin; New York: Springer

SAŽETAK

Ovaj rad istražuje povezanost artikulacijskih i akustičkih svojstava okluziva i njihove rezistentnosti na maskiranje. Signali su bili bezznačenjske dvosložne riječi (logatomi) koje su se sastojale od bezvučnih i zvučnih hrvatskih okluziva u okruženju vokala /a/. Logatomi su snimljeni u izgovoru muškog i ženskog govornika odrasle dobi. Maska je bila širokopojasni šum raspona 18 kHz. Svaki signal maskiran je šumom intenziteta 62, 65, 68, 71, 74 i 77 dB. Bilabijalni okluzivi pokazali su se kao najrezistentiji na masku što se može pripisati zakrivljenosti tranzijenata i stabilnosti njihovih formanata. Rezistentnim se pokazao i zvučni velarni /k/. Ispitanici su u ovom istraživanju najteže prepoznavali zvučni alveolarni /d/ ženskog govornika.

Ključne riječi: hrvatski jezik, okluzivi, maskiranje, maskiranje šumom, širokopojasni šum

ABSTRACT

This study examines the relationship between articulatory and acoustic cues of plosives and their resistance to masking. The signals used in this study were non-words containing voiceless and voiced Croatian plosives, with the vowel /a/ both preceding and following the plosives. Recordings were made by an adult male and an adult female speaker. The masking noise was a wideband noise with a frequency range of 18 kHz. Each signal was masked with noise at intensities of 62, 65, 68, 71, 74, and 77 dB. Bilabial plosives were found to be the most resistant to masking, a characteristic that can be attributed to the curvature of their transitions and the stability of their formants. The voiced velar /k/ also showed resistance to masking. In this study, participants had the greatest difficulty recognizing the voiced alveolar /d/ when spoken by the female speaker.

Key words: Croatian, plosives, masking, masking by noise, wideband noise

PRILOZI

Prilog A Upitnik za ispitanike

Istraživačica: Tihana Martinjak, prvostupnica fonetike i španjolskog jezika i književnosti

Naziv istraživanja: Maskiranje hrvatskih glasova šumovima

Mentorica: izv. prof. dr. sc. Elenmari Pletikos Olof

Diplomski studij fonetike, znanstveno usmjerenje

Filozofski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

UPITNIK ZA SUDIONIKE U ISTRAŽIVANJU

1. Koliko imate godina? _____
2. Spol: a) muški b) ženski c) drugo
3. Kakav Vam je sluh?
 - a) uredan
 - b) slabo čujem / koristim slušno pomagalo / imam umjetnu pužnicu
5. Studirate li fonetiku?
 - a) da
 - b) ne

SLUŠNI DIO ISPITIVANJA

Uputa: Čut ćete primjere bezznačenjskih riječi maskirane širokopojasnim šumom. Na prazne crte kod svakog primjera napišite riječ za koju mislite da ste čuli.

VJEŽBA 1

ODGOVOR: _____

VJEŽBA 2

ODGOVOR: _____

VJEŽBA 3

ODGOVOR: _____

Uputa: Čut ćete primjere bezznačenjskih riječi maskirane širokopojasnim šumom. Na prazne crte kod svakog primjera napišite riječ za koju mislite da ste čuli.

Stimulus 1.

ODGOVOR:

Stimulus 7.

ODGOVOR:

Stimulus 2.

ODGOVOR:

Stimulus 8.

ODGOVOR:

Stimulus 3.

ODGOVOR:

Stimulus 9.

ODGOVOR:

Stimulus 4.

ODGOVOR:

Stimulus 10.

ODGOVOR:

Stimulus 5.

ODGOVOR:

Stimulus 11.

ODGOVOR:

Stimulus 6.

ODGOVOR:

Stimulus 12.

ODGOVOR:

Stimulus 13.

ODGOVOR:

Stimulus 14.

ODGOVOR:

Stimulus 15.

ODGOVOR:

Stimulus 16.

ODGOVOR:

Stimulus 17.

ODGOVOR:

Stimulus 18.

ODGOVOR:

Stimulus 19.

ODGOVOR:

Stimulus 20.

ODGOVOR:

Stimulus 21.

ODGOVOR:

Stimulus 22.

ODGOVOR:

Stimulus 23.

ODGOVOR:

Stimulus 24.

ODGOVOR:

Stimulus 25.

ODGOVOR:

Stimulus 26.

ODGOVOR:

Prilog B Informacije o istraživanju

Istraživačica: Tihana Martinjak, prvostupnica fonetike i španjolskog jezika i književnosti

Naziv istraživanja: Maskiranje hrvatskih glasova šumovima

Mentorica: izv. prof. dr. sc. Elenmari Pletikos Olof

Diplomski studij fonetike, znanstveno usmjerenje

Filozofski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

INFORMACIJE O ISTRAŽIVANJU

Poštovani kolege i kolegice,

zahvaljujem Vam što ste se odazvali na sudjelovanje u istraživanju **Maskiranje hrvatskih glasova šumovima**. Istraživanje provodim u okviru izrade svoga diplomskoga rada na znanstvenom usmjerenju studija fonetike.

Svrha ovog istraživanja je ispitati koji su hrvatski glasovi rezistentniji na maskiranje šumovima s obzirom na njihova artikulacijska i akustička svojstva.

Postupak istraživanja sastoji se od toga da putem slušalica u kontroliranim uvjetima slušate maskirane signale, a svoje odgovore samostalno bilježite na papir za odgovore. Eksperiment će trajati otprilike 20 minuta.

Razina stresa i/ili neugode u ovom istraživanju je minimalna, osim ako ste na bilo koji način osjetljivi na zvuk šumova te Vam u tom slučaju savjetujem da ne pristupate eksperimentu. Glasnoća stimulusa koju ćete primati putem slušalica standardizirana je za sve ispitanike i ne prelazi razinu neugode i boli. **Sudjelovanje u istraživanju je dobrovoljno te imate pravo bez ikakvih posljedica odustati od sudjelovanja ili se iz njega povući.**

U ovom istraživanju moći ćete dobiti uvid u vlastitu slušnu osjetljivost i dojam o tome koliko dobro čujete podražaje u bučnom okruženju koje nije idealno za govornu komunikaciju.

Povjerljivost informacija o Vašem identitetu u ovom je istraživanju zajamčena. Pristup podacima imat će samo studentica istraživačica i mentorica. Ako nalazi istraživanja budu objavljeni, to će biti učinjeno za čitavu skupinu sudionika, s navođenjem prosječnih podataka o dobi, spolu i drugim prikupljenim podacima za cijelu skupinu.

Svojim potpisom na obrazac *Pristanak na sudjelovanje u istraživanju* potvrđujete da ste informirani o svrsi istraživanja, postupku istraživanja te rizicima i dobrobitima te dajete pristanak da se dani podaci prikazuju i objave na način da se Vaš identitet štiti kako je opisano.

S poštovanjem,

Tihana Martinjak

Potpis istraživača:

Mjesto i datum:

Prilog C Suglasnost za sudjelovanje u istraživanju

Istraživačica: Tihana Martinjak, prvostupnica fonetike i španjolskog jezika i književnosti

Naziv istraživanja: Maskiranje hrvatskih glasova šumovima

Mentorica: Izv. prof. dr. sc. Elenmari Pletikos Olof

Diplomski studij fonetike, znanstveno usmjerenje

Filozofski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

PRISTANAK NA SUDJELOVANJE U ISTRAŽIVANJU

Ja, niže potpisani/a _____ (IME I PREZIME) potpisivanjem ovog obrasca potvrđujem da sam na meni prihvatljiv i zadovoljavajući način upoznat sa svrhom i postupkom istraživanja te s dobrobitima i rizicima sudjelovanja. Razumijem da mogu uskratiti ili naknadno povući svoj pristanak u bilo kojem trenutku istraživanja, bez navođenja razloga i bez ikakvih posljedica. Mogu dobiti uvid u informacije prikupljene u svrhu istraživanja i biti izvješten o njegovom tijeku. Razumijem da mojoj dokumentaciji imaju pristup samo odgovorni pojedinci u istraživanju.

Želim da mi se rezultati istraživanja dostave putem e-pošte:

a) NE

b) DA, na ovu adresu e-pošte _____

Potpis ispitanika:

Mjesto i datum:
