

# Govorne komunikacije u bučnim sredinama

Milan Vojnović, Miško Subotić

**Sadržaj** — Govorne komunikacije u bučnim sredinama zahtevaju upotrebu različitih tehnika i sredstava u cilju povećanja razumljivosti. Koriste se različite vrste mikrofona, senzora osetljivih na vibracije, mikrofonski štitnici, maske, naušnice, kacige i sl. Jedna od mogućnosti je postavljanje minijaturnog mikrofona u slušni kanal govornika. U radu su prikazani preliminarni rezultati analize govornog signala snimljenog mikrofonom postavljenim u slušni kanal. Rezultati analize pokazuju da je moguća praktična realizacija ovakvog načina komuniciranja i da se može postići dobra razumljivost čak i u sredinama sa velikim nivoom ambijentalne buke.

**Gljučne reči** — buka, laringofon, govorne komunikacije, gradijentni mikrofoni, slušni kanal.

## I. UVOD

Bez obzira na civilizacijski trend smanjenja buke u svim segmentima života, problem govorne komunikacije u bučnim sredinama je i dalje aktuelan. Razvoj nekih novih komunikacionih sredstava, kao što je mobilna telefonija, postavlja zahteve za govornim komunikacijama u najrazličitijim sredinama: ulica, sredstva javnog prevoza, putnički automobili itd. Sve su ovo sredine u kojim je nivo ambijentalne buke reda nivoa govornog signala (oko 60-tak decibela) i uglavnom su potrebne neke specijalne mere kako bi se ostvarila razumljiva komunikacija.

Poseban problem je govorna komunikacija u sredinama gde je nivo buke reda 80-90 dB jer tada dolazi do potpunog maskiranja govora. Ovde se uglavnom radi o delikatnim poslovima i sredinama u kojima se oni obavljaju: borbeni vazduhoplovi, motociklizam, spasilačke službe i sl. Moguća su dva vida komunikacija u bučnim sredinama:

- govorna komunikacija se obavlja samo telekomunikacionim sredstvima i
- govorna komunikacija se obavlja komunikacionim sredstvima, ali je istovremeno potrebno obavljati i klasičnu govornu komunikaciju.

Naravno, ovaj drugi slučaj je najgori mogući vid govorne komunikacije jer se zahteva klasična govorna komunikacija u bučnoj sredini uz istovremeno vođenje komunikacije telekomunikacionim sredstvima (radio

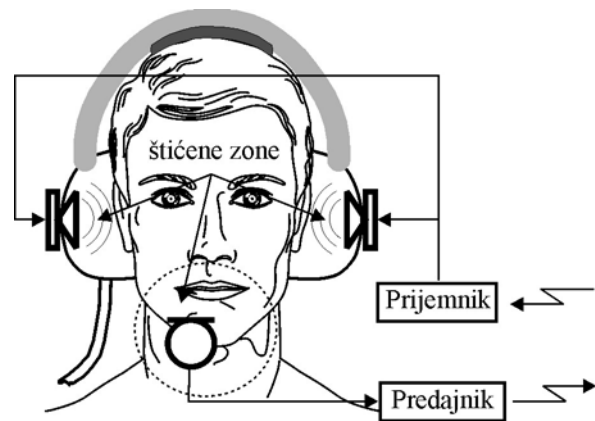
Ovaj rad je nastao u okviru projekta "Govorna komunikacija čovek - mašina" broj 11001 koji je finansiran od strane ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine Republike Srbije.

Milan Vojnović, Centar za unapređenje životnih aktivnosti – Inovacioni centar, Gospodar Jovanova 35, Beograd, Srbija (e-mail: vojnovicmilan@yahoo.com).

Miško Subotić, Centar za unapređenje životnih aktivnosti – Inovacioni centar, Gospodar Jovanova 35, Beograd, Srbija (e-mail: ifp2@ikomline.net).

uređaji, telefonija ...)

Ako se za komunikaciju u bučnim sredinama koriste komunikaciona sredstva, onda se može pribeći taktici zaštite, ili kondicioniranja, predajnog i prijemnog dela komunikacionog lanca. U principu, radi se o zaštiti od buke mikrofona (kao prvog elementa u predajnom lancu), odnosno zaštiti zvučnika (kao poslednjeg elementa u prijemnom lancu), Sl. 1.



Sl. 1. Princip govorne komunikacije u bučnim sredinama.

Kod zaštite zvučnika (u principu se štiti ulaz slušnog kanala od ambijentalne buke) koriste se dve osnovne tehnike:

- pasivna i
- aktivna redukcija buke,

ili njihova kombinacija. Kod pasivne zaštite od buke koriste se slušalice (antifoni) sa dobrom akustičkom izolovanošću: reda 20-30 dB. Ovo prigušenje buke je uglavnom u visoko-frekvencijskom području, tj. iznad 800 Hz. Korišćenjem kaciga postiže se još veće prigušenje ambijentalne buke, ali na štetu komforosti. Kod onih delatnosti gde je obavezno nošenje kaciga (borbeni vazduhoplovi, spasilačke službe, motociklizam i dr.) redukcija buke je od sekundarnog interesa.

Aktivna redukcija buke podrazumeva emitovanje signala buke u protivfazi u "branjenu zonu". Njen efekat je najbolji na niskim frekvencijama. U kombinaciji sa pasivnom redukcijom buke mogu se postići dobri rezultati u širokom frekvencijskom području.

Kod zaštite mikrofona od buke (ulazni element predajnog lanca) uglavnom se koriste dve strategije:

- fizička zaštita mikrofona od ambijentalne buke i
- korišćenje mikrofona (i drugih senzora) imunih na ambijentalnu buku.

Naravno, i u ovom slučaju moguće su realizacije koje inkorporiraju oba vida zaštite od buke.

Kod fizičke zaštite mikrofona radi se o tzv.

"mikrofonskim štitnicima" i različitim vrstama maski. Mikrofonski štitnici se retko koriste u poslednje vreme i principijelno predstavljaju neku vrstu maske (komore) koja se prinosi ustima samo u fazi govora (predaje poruke). Osnovna razlika u odnosu na maske je ta što ne obebeđuju funkciju disanja. Maske se najčešće koriste u onim situacijama kada priroda delatnosti nalaže zaštitu disajnih organa (borbeni vazduhoplovi, spasilačke službe i sl.). Da bi se mogla ostvariti govorna komunikacija u masku se postavlja mikروفon. Dakle, primarna uloga maske je zaštita respiratornih organa, a govorna komunikacija je sekundarna. Postavljanje mikrofona unutar maske je najlogičnije rešenje u situacijama kada je nivo ambijentalne buke velik. Međutim, ako ambijentalna buka nije velika mogu se koristiti i maske sa govornim membranama (noviji tipovi vojnih gas maski). Postavljanje maske na lice govornika ima uticaja na akustičke karakteristike vokalnog trakta i samu artikulaciju što se odražava na spektralni sastav govora [1]. Pažljivim izborom veličine maske i načina postavljanja mikrofona unutar nje, spektralne promene govora se mogu svesti na prihvatljiv nivo, tako da razumljivost govora ne bude značajno narušena.

Najpopularniji tip mikrofona za komunikaciju u bučnim sredinama je gradijentni. Gradijentni mikrofoni spadaju u grupu usmerenih mikrofona. Konstrukcija mikrofona je takva da zvučni talasi imaju pristup sa obe strane membrane. Ako se mikروفon izloži homogenom i difuznom zvučnom polju membrana mikrofona miruje. Do pomeranja membrane doći će samo ako su zvučni pritisci sa jedne i druge strane membrane različiti. Upotreba gradijentnih mikrofona u govornim komunikacijama ima smisla samo ako se mikروفon postavi u neposrednu blizinu usta govornika, zbog efekta blizine. Kada je mikروفon blizu usta govornika, zvučni talasi, generisani procesom govora, izazvaće različite zvučne pritiske na prednjoj i zadnjoj strani membrane. Izvor ambijentalne buke najčešće je daleko od mikrofona tako da će njeno dejstvo biti poništeno proizvođenjem istog zvučnog pritiska na obe strane membrane. Zbog svega toga, izlazni signal mikrofona direktno je proporcionalan zvučnom pritisku koji izaziva govor, a prisustvo ambijentalne buke se poništava jer je njeno dejstvo istovetno na obe strane membrane.

Drugi tip mikrofona koji se koristi u bučnim sredinama je laringofon, ili "grleni" mikروفon. Po konstrukciji je ugljeni mikروفon i u suštini on je senzor osetljiv na vibracije. Postavlja se na grkljan tako da registruje vibracije štitaste hrskavice u toku govora. Laringofon je izuzetno imun na ambijentalnu buku i ranije se masovno koristio u vazduhoplovnim komunikacijama. Danas se retko koristi zbog pojave novih, osetljivijih senzora vibracija. Frekvencijski opseg rada mu je ispod 3000 Hz i izuzetno je nekomforan jer se postavlja oko vrata stim da se mora ostvariti određena sila naleganja na štitastu hrskavicu. Govorni signal na izlazu laringofona je specifičan zbog izraženog prisustva oscilacija glasnica i nedovoljne naglašenosti bezvučnih fonema. Zbog toga je

potrebna određena praksa u korišćenju laringofona kako bi se sve foneme (i zvučne i bezvučne) izgovarale uz učešće rada glasnica. Ovo je tzv. "grleni" govor.

Senzori vibracija (akcelerometri) se takođe mogu koristiti u govornim komunikacijama [2]. Posebno su interesantne novije generacije minijaturnih akcelerometara (na primer firme Knowles i Analog Devices) koji imaju odličnu osetljivost i širok frekvencijski opseg rada. Zbog male težine i malih dimenzija mogu se postavljati i na druge delove glave govornika, a ne samo na grkljan kao laringofon. Naime, u procesu generisanja govora najveći deo generisane zvučne energije se izrači u okolni prostor preko otvora usta i/ili nozdrva. Jedan mali deo zvučne energije se utroši na vibracionu pobudu zidova vokalnog trakta. Vibracije zidova vokalnog trakta se prenose na okolna tkiva i kosti glave. To znači da kosti glave vibriraju u ritmu govora, tj. da vibracije kostiju glave sadrže govornu informaciju. Detaljna istraživanja mogućnosti korišćenja vibracija kostiju glave u govornim komunikacijama [2]-[4] dala su pozitivne rezultate. Frekvencijski opseg korisnog govornog signala je oko 3000 Hz, a logatomska razumljivost od 65% do 85%. Bolji rezultati u pogledu razumljivosti se postižu ako se senzor vibracija postavi bliže otvoru usta, na primer na gornjoviličnu kost. Sa udaljavanjem od otvora usta (jagodična kost, nosna kost, čeona kost itd.) opada razumljivost govornih komunikacija jer se povećava put prostiranja vibracija od vokalnog trakta do senzora. Zbog povećanja puta prostiranja dolazi do slabljenja visokofrekvencijskih komponenti. Senzori vibracija su pogodni za govorne komunikacije u bučnim sredinama, ali imaju jednu ozbiljnu manu: postavljanje senzora na neku od kostiju glave govornika. Da bise dobro prenele vibracije kostiju glave senzor mora dobro da naleže na kost i to pod određenim (ne velikim) pritiskom. Problem je praktične realizacije postavljanja senzora a da pri tome ne bude bitno narušena konformnost govornika.

Kao što je rečeno, najveći deo generisane zvučne energije se izrači u okolni prostor, mali deo se utroši na vibracionu pobudu zidova vokalnog trakta i jedan mali deo zvučne energije iz usne duplje se preko Eustahijeve trube prenosi u srednje uvo. Iz srednjeg uva, preko bubne opne, zvučni talasi dospevaju u slušni kanal. Treba imati u vidu da se vibracije tkiva i kostiju glave u toku govora prenose i do zidova slušnog kanala tako da i ova komponenta govora doprinosi ukupnoj zvučnoj energiji unutar slušnog kanala. Naravno, mnogo veći deo zvučne energije se u slušni kanal prenosi "vazdušnim" putem: usna duplja - Eustahijeva truba - srednje uvo - bubna opna - slušni kanal. Ako se u slušni kanal postavi minijaturni mikروفon može se ostvariti govorna komunikacija. Zašto je slušni kanal interesantan za govornu komunikaciju? Interesantan je samo u slučajevima kada postoji veliki nivo ambijentalne buke. U tim slučajevima se mora zaštititi slušni kanal zbog dobrog prijema govorne poruke korišćenjem naušnica (antifona), kaciga ili aktivne redukcije buke. Sada kada je ulaz, i sam slušni kanal zaštićen od ambijentalne buke postoji opravdanje da se u tom "branjenom" području postavi i

mikrofon. Upravo ovaj vid govorne komunikacije je detaljnije analiziran u ovom radu. U pitanju su preliminarna istraživanja tako da su razmotrene samo osnovne audio-spektralne karakteristike govornog signala snimljenog mikrofonom postavljenim u slušni kanal.

## II. EKSPERIMENTALNA POSTAVKA

Eksperiment je obavljen u prigušenoj sobi Centra za unapređenje životnih aktivnosti. Učestvovala su dva ispitanika koja su čitala unapred pripremljen, fonetski izbalansiran tekst. Fonetska izbalansiranost znači da se u toku prvih 60 s čitanja teksta javljaju svi glasovi srpskog jezika. Ukupna dužina čitanog teksta je oko 2 minuta. Pre snimanja ispitaniku su postavljene sonde za merenje otoakustičke emisije [5], a u čijem se sastavu nalazi minijturni mikrofon tip EA 1842 firme Knowles. Samo su mikrofoni iz sonde korišćeni za ovaj eksperiment. Naleganje sonde na zidove slušnog kanala je ostvareno preko odgovarajućeg gumenog adaptera (olive). Pored ova dva mikrofona (dve sonde za otoakustičku emisiju), korišćen je i jedan spoljni mikrofon (klasični laboratorijski elektret mikrofon) za snimanje "normalnog" govora. Ovaj mikrofon je bio postavljen na 30-tak centimetara od usta govornika. Zvučnik, zajedno sa pojačavačem, korišćen je za kreiranje ambijentalne buke - emitovanje belog šuma. Snimanje i reprodukcija audio signala je obavljena pomoću eksterne audio kartice "Fast Track Ultra 8R" firme M-Audio povezane preko USB porta sa personalnim računom.

Svaki od govornika je čitao pripremljeni tekst dva puta:

- prvi puta bez prisustva ambijentalne buke i
- drugi put uz prisustvo ambijentalne buke.

Nivo generisane ambijentalne buke je bio oko 70 dB. Rezultati merenja pokazuju da nema nekih bitnijih razlika između mikrofonskih signala iz desnog i levog slušnog kanala tako da će u nastavku biti tretiran samo jedan od njih: mikrofonski signal iz desnog slušnog kanala.

## III. REZULTATI ANALIZE

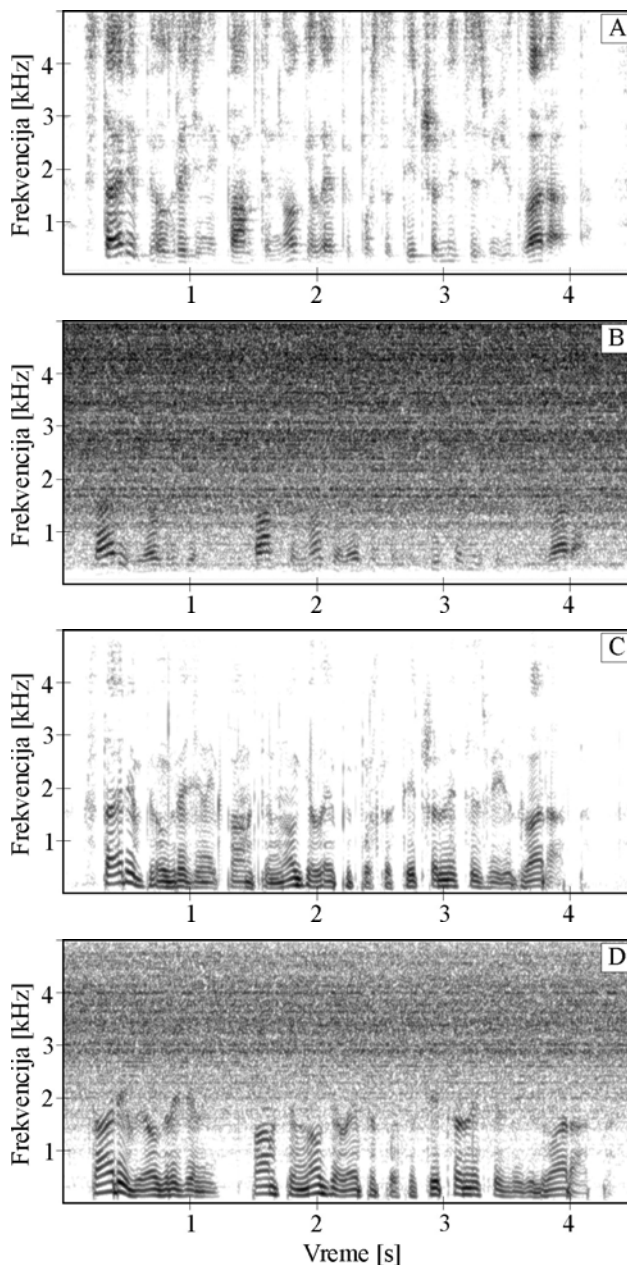
Na Sl. 2 prikazani su spektrogrami signala snimljenih mikrofonom postavljenim u slušni kanal i spoljašnjim mikrofonom u toku izgovora rečenica */Stari beograđani pamte mnoge lepe poslastičarnice između dva rata./*, i to za dva slučaja: sa i bez ambijentalne buke.

Na osnovu spektrogramске analize prikazane na Sl. 2, mogu se izvući sledeći zaključci:

1. Generisana ambijentalna buka skoro u potpunosti prekriva govorni signal snimljen spoljašnjim mikrofonom tako da se on u ovoj konkretnoj situaciji ne može koristiti za uspostavljanje razumljive govorne komunikacije.
2. Došlo je i do maskiranja govornog signala snimljenog pomoću mikrofona smeštenog u slušni kanal ali u manjoj meri i to u višem frekvencijskom području - iznad 2 kHz. Nisko-frekvencijsko područje je ostalo nepromenjeno i može se iskoristiti za ostvarivanje razumljive govorne komunikacije.

Treba imati u vidu da ovde nisu korišćena nikakva sredstva za zaštitu od buke (na primer naušnice i kacige)

tako da će se u realnim situacijama dobiti još povoljniji rezultati, jer će frekvencijski opseg govornog signala biti iznad 2 kHz. Prema Sl. 2C), govorni signal snimljen mikrofonom u slušnom kanalu ima gornju graničnu frekvenciju oko 3 kHz. Ovo je sasvim dovoljno za postizanje razumljive govorne komunikacije. Za govorni signal filtriran NF fitrom gornje granične frekvencije 3 kHz dobija se logatomska razumljivost od oko 85% [6] što spada u kategoriju "vrlo dobra" razumljivost govornih komunikacija.



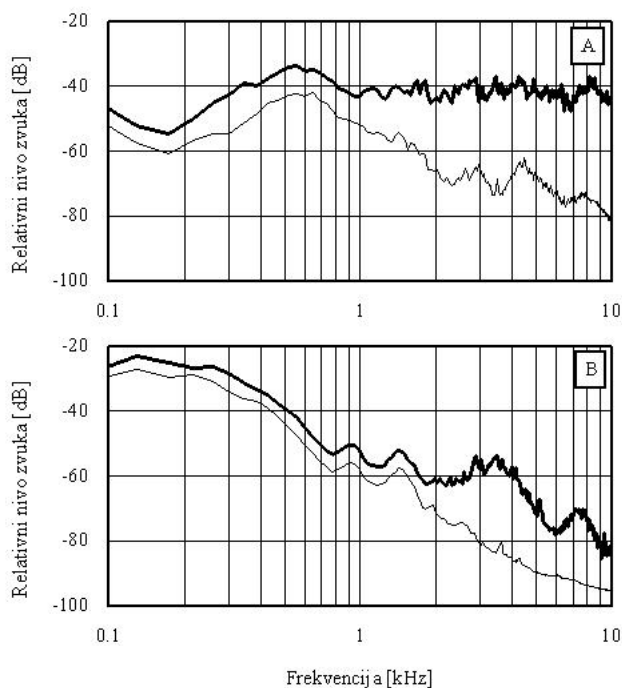
Sl. 2. Spektrogrami rečenice */Stari beograđani pamte mnoge lepe poslastičarnice između dva rata./* snimljene:  
 A) spoljašnjim mikrofonom (bez ambijent. buke)  
 B) spoljašnjim mikrofonom (sa ambijent. bukom)  
 C) mikrofonom u slušnom kanalu (bez ambijent. buke)  
 D) mikrofonom u slušnom kanalu (sa ambijent. bukom)

Prema Sl.2, može se primetiti da su horizontalne linije, koje se odnose na oscilacije glasnica, naglašenije

("oštrije") kada je u pitanju govor snimljen mikrofonom postavljenim u slušni kanal.

Na Sl. 3 prikazani su dugovremeni usrednjeni spektri govora. Na svakom dijagramu postoje dve linije koje se odnose na slučaj bez prisustva ambijentalne buke (tanka linija) i na slučaj kada je ambijentalna buka prisutna (debela linija).

Za govorni signal snimljen spoljašnjim mikrofonom došlo je do maskiranja ambijentalnom bukom u širokom frekvencijskom području. Najveće prekrivanje ambijentalnom bukom je iznad 1 kHz. Kod govornog signala snimljenog mikrofonom iz slušnog kanala granica maskiranja je pomerena na 2 kHz. Još bolji rezultati bi se dobili da je korišćena pasivna redukcija buke.



Sl. 3. Dugovremeni usrednjeni spektri govora snimljeni:  
A) spoljašnjim mikrofonom  
B) mikrofonom postavljenim u slušni kanal

Govorni signal dobijen mikrofonom iz slušnog kanala ima naglašene NF komponente u opsegu od 100 do 300 Hz. Nije u pitanju pojačanje komponenti iz ovog NF opsega već je došlo do slabljenja VF komponenti. U svakom slučaju, situacija je takva da su NF komponente značajno većeg nivoa nego VF komponente.

U VF području (Sl. 3B)) primećuju se rezonantne pojave u okolini frekvencija 1500, 3200 i 6500 Hz. Najverovatnije su u pitanju rezonantne pojave unutar slušnog kanala.

Već na osnovu ovih preliminarnih istraživanja može se konstatovati da mikrofoni postavljeni u slušni kanal govornika ima svojih prednosti kod govornih komunikacija u bučnim sredinama. Ovaj problem zaslužuje detaljnu analizu i merenje logatomske razumljivosti kao konačnog merila uspešnosti govornih komunikacija. Takođe treba ispitati kolike su inter i intra govorničke razlike za ovakav način snimanja govora. Interesantno je proanalizirati kako određene anatomske promene (na primer prohodnost

Eustahijeve trube usled prehlade) utiče na kvalitet govornog signala.

Polje primene ovakvog načina postavljanja mikrofona je široko i sigurno ima najveću perspektivu u borbenim vazduhoplovima, motociklizmu, sportskom automobilizmu, spasilačkim službama i sl. Ovo su sve slučajevi gde je nivo ambijentalne buke izuzetno visok, a koriste se kacige kako za fizičku zaštitu tako i za zaštitu od ambijentalne buke. Kada se već mora koristiti kaciga zbog prirode posla onda je najprimerenije da se za komunikaciju koristi mikrofoni postavljeni u slušni kanal.

#### IV. ZAKLJUČAK

Pilot istraživanje, čiji su rezultati prezentirani u ovom radu, pokazuje da postavljanje mikrofona u slušni kanal ima realnu primenu kod govornih komunikacija u bučnim sredinama. Elektro-akustičke karakteristike govornog signala snimljenog mikrofonom postavljenim na ovaj način su takve da se može ostvariti razumljiva govorna komunikacija.

U budućim istraživanjima ovaj vid komunikacije treba svestranije i detaljnije ispitati, a pre svega treba izvršiti merenje logatomske razumljivosti.

#### LITERATURA

- [1] Vojnović M., *Uticao maske na akustičke i artikulacione karakteristike govora*, Doktorska teza, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2008.
- [2] Vojnović M., "Percepcija govora pomoću vibracija kostiju glave", poglavlje u monografiji: *Govor i jezik: Interdisciplinarna istraživanja srpskog jezika I*, IEFPG, Beograd, 2004.
- [3] Vojnović M., "Use of Head Bones Vibration in Speech Communication", *17<sup>th</sup> International Congress on Acoustics*, Rome, 2001.
- [4] Giua P.E., "Voice transmission through vibration pickups", *Proceedings 16<sup>th</sup> International Congress on Acoustics and 135<sup>th</sup> Meeting Acoustical Society of America*, Seattle, pp.221-222, 1998.
- [5] Vojnović M., Subotić M., "Ekvivalentni električni model sonde za merenje otoakustičke emisije", *Sedma konferencija: DIGITALNA OBRADA GOVORA I SLIKE - DOGS2008*, Zbornik radova, str. 170-173, Kelebija, 2008.
- [6] Fletcher H., *Speech and Hearing*; D. Van Nostrand Company, New York, 1929.

#### ABSTRACT

Voice communication in noisy environments requires the use of different techniques and tools in order to increase intelligibility. The different types of microphones, vibration sensors, microphone shield, masks, earmuffs, helmets are using. One possibility is placing a miniature microphone in the speaker's auditory channel. The paper presents preliminary results of the analysis of the voice signal recorded by microphone placed in the auditory canal. The analysis results show that this method of communication can be use for practical realization and can be achieved good intelligibility even in environments with high level of ambient noise.

#### SPEECH COMMUNICATION IN NOISY ENVIRONMENTS

Milan Vojnović, Miško Subotić