

# Biološki šum u ušnom kanalu

Miško Subotić, Milan Vojnović

**Sadržaj** — Šumovi koji se javljaju u spoljašnjem ušnom kanalu značajno utiču na merenje OAE. Njihovo poznavanje može doprineti razvoju efikasnih algoritama za potiskivanje šuma. Ovi šumovi se mogu podeliti na unutrašnje i spoljašnje. Spoljašnji potiču od buke u spoljašnjoj sredini i na njih se delimično može uticati. Unutrašnji šumovi odnosno biološki šumovi su posledica funkcije organizma i oni su uvek prisutni. U radu su analizirani izvori biološkog šuma u ušnom kanalu.

**Ključne reči** — biološki šum, OAE, potiskivanje šuma

## I. UVOD

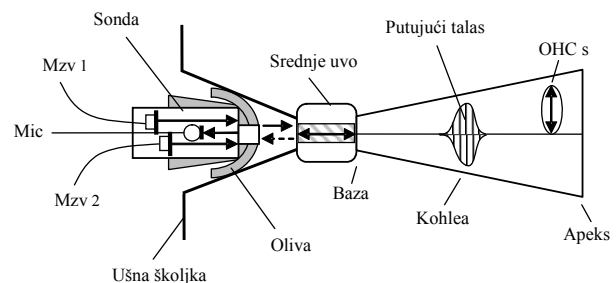
Kada je D. Kempa 1978 godine [1] objavio svoj rad o OAE bačeno je sasvim novo svetlo na funkciju kohlee. Od tada počinje intenzivno izučavanje otoakustičke emisije u različitim naučnim oblastima. Najširu primenu OAE je našla u medicini kao neinvazivna objektivna metoda za ispitivanje sluha.

Otoakustička Emisija je posledica normalne funkcije kohlee koja pored prijema akustičkog signala ima mogućnost emisije akustičkog signala slabog intenziteta. Signali OAE mogu biti spontani ili nastaju kao odgovor na spoljašnju stimulaciju. Kada se govori o izazvanim OAE onda se prvenstveno misli na TEOAE (tranzientna otoakustička emisija) i DPOAE (otoakustička emisija kao proizvod distorzije). Kod TEOAE kohlea se pobuđuje kao celina i odziv, odnosno dobijena otoakustička emisija predstavlja odziv celokupne kohlee, a kod DPOAE pobuđuje se samo tačno definisani deo kohlee pa odziv predstavlja nelinearnu aktivnost tačno definisanog segmenta kohlee [2]. Iako se po tim osnovnim karakteristikama razlikuju, postoje i elementi koji su zajednički u oba pristupa. U oba slučaja geometrija merenja odziva OAE je slična (sl.1). Sonda u kojoj su smešteni mikrofoni i zvučnik (jedan ili dva) umeće se u slušni kanal. Na vrhu sonde nalazi se oliva koja obezbeđuje dobru zaptivenost slušnog kanala. Pobudni signal sa zvučnika prolazi kroz kanal sonde, slušni kanal, i preko bubne opne i srednjeg uha pobuđuje kohleu koja usled aktivnih procesa generiše akustički signal koji se preko ovalnog prozora, srednjeg uha prenosi na bubnu opnu. Bubna opna emituje akustičku energiju u spoljašnji

slušni kanal iz koga preko kanala sonde dolazi do mikrofona.

Dve osnovne karakteristike signala *otoakustičke emisije*, koje neposredno utiču na izbor metode merenja, su: (i) veoma mali intenzitet signala OAE, od 0 do 10 dB iznad praga čujnosti, i (ii) prisustvo intenzivnih smetnji, reda 30 – 40 dB, koje potpuno maskiraju signal OAE. Pod ovakvim uslovima merenje signala OAE zahteva primenu posebnih metoda obrade signala snimljenih minijaturnim mikrofonom u slušnom kanalu. Nezavisno od vrste metode merenja suština se sastoji u detekciji signala OAE u intenzivnim smetnjama i pravilnoj interpretaciji rezultata detekcije.

Pošto su smetnje u opštem slučaju stohastičke prirode obrada signala iz minijaturnog mikrofona ima statističku osnovu. Prvi korak se bazira na statističkom usrednjavanju koje omogućava značajno smanjenje nivoa smetnji, do ispod nivoa signala OAE. U drugom koraku neophodna je statistička separacija korisnog signala (signala OAE) i signala smetnji (signala buke, bioloških signala i signala stimulusa). Konačno, potrebna je ispravna interpretacija dobijenih rezultata merenja koja takođe ima statističku osnovu jer su i ulazni parametri statističke prirode.



**Slika 1** Stimulacija i merenje signala OAE

Metoda statističkog usrednjavanja omogućava izdvajanje korisnog signala OAE iz okružujućeg šuma, ali je cena ovakvog pristupa u produženom vremenu trajanja merenja koje u određenim uslovima može biti ograničavajući faktor. Pošto je merenje OAE postalo standardna skrining procedura za proveru sluha novorođenčadi onda je zbog uslova samog merenja razumljivo zašto je poželjno da vreme merenja bude što kraće. Zbog toga se čine konstantni naponi da se razvijaju adekvatni algoritmi za potiskivanje šuma koji bi omogućili brzu i pouzdanu detekciju signala OAE.

Razvoj algoritama za potiskivanje šuma i njihova optimizacija u velikoj meri zavise od poznavanja karakteristika signala i šuma, odnosno njihovog opisa u višedimenzionom prostoru statističkih parametara. Ukoliko je distanca između pojedinih parametara veća, tada je separabilnost a samim tim i mogućnost potiskivanja šuma veća.

Ovaj rad je nastao u okviru projekta "e-medicine sistem za kontrolu kvaliteta sluha" broj 13011 koji je finansiran od strane ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine Republike Srbije.

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

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

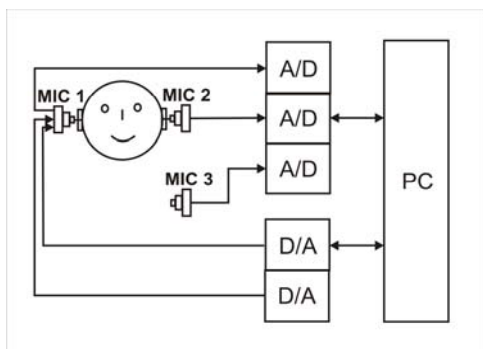
Šum koji se javlja u spoljašnjem slušnom kanalu prema prirodi nastanka možemo podeliti na unutrašnji i spoljašnji. Unutrašnji ili biološki šum neraskidivo je povezan sa funkcijom živog organizma i uvek je prisutan. Izvori biološkog šuma mogu biti različiti: otkucaji srca, protok krvi kroz vene i arterije, disanje, gutanje, žvakanje itd. Neki od ovih šumova mogu biti periodični (otkucaji srca i disanje), dok se drugi mogu javljati povremeno.

Spoljašnji šum potiče od buke u spoljašnjoj sredini i na njega se delimično može uticati. Olakšavajuća okolnost pri merenju OAE je da signal OAE i šum (biološki i spoljašnji) nisu korelisani tako da se signal u ušnom kanalu može posmatrati kao zbir korisnog signala OAE i aditivnog šuma.

Poznavanje karakteristika unutrašnjeg i spoljašnjeg šuma, njihovog međusobnog odnosa i separabilnosti sigurno bilo bi od velike pomoći pri realizaciji algoritma za potiskivanje šuma. Iz tih razloga osmišljen je niz eksperimenata koji treba da daju jasniju sliku o karakteristikama signala i šumova u spoljašnjem slušnom kanalu. U radu su dati preliminarni rezultati merenja biološkog šuma u ušnom kanalu.

## II. EKSPERIMENTALNA POSTAVKA

Snimanje bioloških šumova u spoljašnjem ušnom kanalu odvijalo se u akustički tretiranoj sobi (tiha soba) Centra za unapređenje životnih aktivnosti. Eksperimentalna postavka prikazana je na Slici 2.



**Slika 2** Eksperimentalna postavka za snimanje biološkog šuma u ušnom kanalu.

Subjekti koji su učestvovali u eksperimentu tokom snimanja bili su u sedećem položaju. Svi su imali uredan sluh i u trenutku snimanja nisu imali respiratorne ili neke druge fiziološke poteškoće koje bi mogle uticati na rezultate. Pre i posle snimanja ispitanicima su mereni krvni pritisak i broj otkucaja srca.

U toku snimanja spoljašnja buka u prosotriji je svedena na minimum. Šum koji je poticao od ispitanika značajno je prevazilazio pozadinski šum u prostoriji. Snimljeni signal u Mic 1 i Mic 2 poticao je od biološkog šuma i od sopstvenog šuma mikrofona u sondi. U eksperimentu su korišćene sonde za merenje OAE [3] u kojima se nalaze mikrofoni EA 1842 firme Knowles. Sopstveni šum ovih mikrofona je oko -50 dB re 1V. Snimanje se odvijalo istovremeno sa oba uha pomoću eksterne audio kartice "Fast Track Ultra 8R" firme M-Audio povezane preko

USB porta sa personalnim računarom.

U snimanju je učestvovalo sedam odraslih osoba starosti između 30 i 55 godina (dva subjekta muškog pola i pet ženskog pola) U pokušaju da se biološki šumovi drže pod kontrolom snimanje se odvijalo pri sledećim uslovima:

- duboko diše na nos,
- duboko diše na usta,
- diše na nos,
- diše na usta,
- diše na nos i usta,
- diše na nos i pomera glavu,
- ne diše.

Ukupno je snimljeno 98 stimulusa (sedam subjekata x dva uha x sedam uslova) koji su podvrgnuti audiovizuelnoj, spektralnoj i statističkoj analizi.

## III. REZULTATI ANALIZE

Vizuelna analiza snimljenog materijala je pokazala da se kod svih ispitanika pri uslovima "dubokog disanja na nos" i "duboko disanje na usta" uočavaju faze inspirijuma i ekspirijuma i da se na osnovu obvojnice amplitude one mogu pratiti (Slika 3). Slušanjem se takođe jasno uočavaju ove faze. Analiza LPC spektra pokazuje postojanje spektralnih pikova u oblastima između 400 i 2000Hz. Njihov broj i položaj u navedenom opsegu zavisi od subjekta do subjekta. Na pojavu ovih pikova sigurno utiču fizičke dimenzije subjekata među kojima su dimenzije ušnog kanala i dužina vokalnog trakta. Međutim tek detaljnija analiza može ukazati na korelaciju ovih spektralnih pikova sa biološkim karakteristikama subjekata.

Pri uslovu "disanja na nos" i "disanje na usta" faze ekspirijuma i inspirijuma nisu tako jasno izražene i variraju od subjekta do subjekta.



**Slika 3** Talasni oblik snimljenog signala u ušnom kanalu pri uslovu eksperimenta "duboko diše na nos".

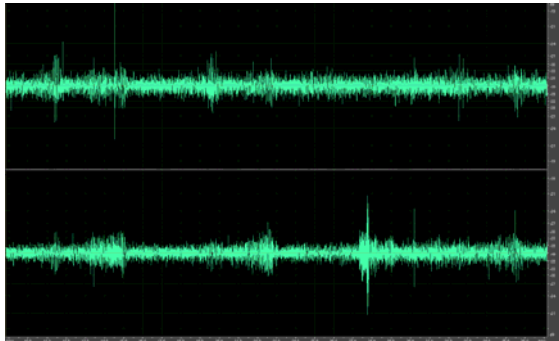
Pri uslovu eksperimenta da subjekat "diše na nos i pomera glavu" uočava se da pomeranje glave izaziva pomeranje kablova sonde što se pri slušanju može uočiti kao šum ili u nekim slučajevima pucketanje.

Pored pomeranja kablova i njihovog trenja o telo postoji mogućnost da do pucketanja i šumova dolazi i usled trenja oliva sonde o zidove spoljašnjeg slušnog kanala. Uočava se da ovi šumovi nisu istovremeni za levo i desno uho.

Do ove pojave dolazi i pri dubokom disanju na nos i

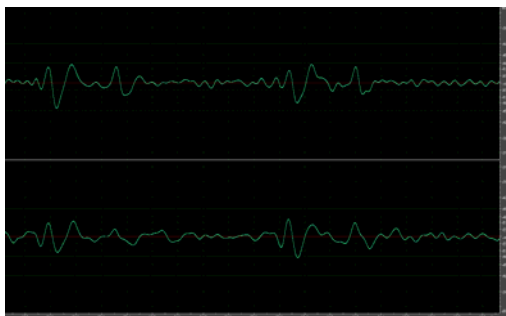
usta obzirom da su tada pokreti gornjeg dela tela izraženiji. I pri ovim uslovima eksperimenta šumovi koji se javljaju na levom i desnom uhu usled trenja kablova sonde nisu istovremeni.

Audio vizuelna analiza signala pri uslovu eksperimenta "ne diše" pokazala je da se kod pojedinih subjekata u



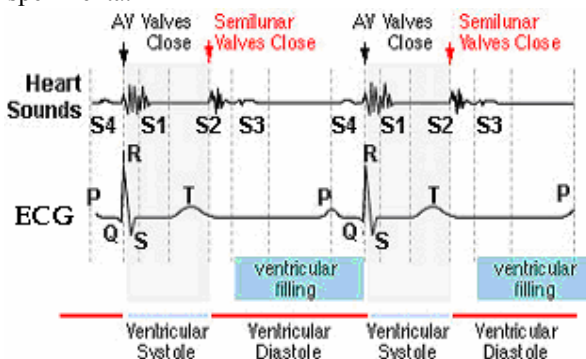
Slika 4 Talasni oblik snimljenog signala u ušnom kanalu pri uslovu eksperimenta "diše na nos i pomera glavu".

talasnom obliku mogu uočiti promene koje ukazuju na otkucaje srca. Filtriranjem signala filtrom propusnika opsega niskih učestanosti do 50Hz jasno su se izdvojili signali srčanog ritma (Slika 5)



Slika 5 Talasni oblik snimljenog signala u ušnom kanalu pri uslovu eksperimenta "ne diše" filtriranog filtrom propusnikom niskih učestanosti.

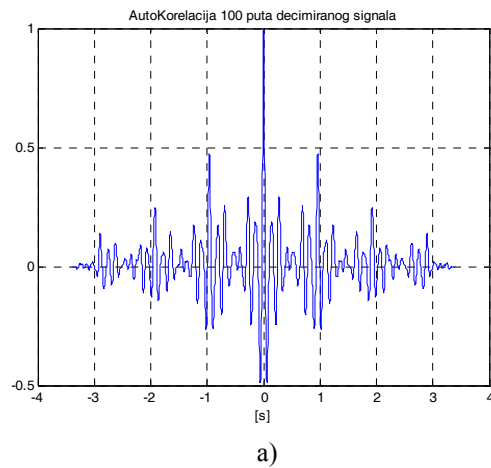
Poredeći ove rezultate sa rezultatima dobijenim snimanjem rada srčanog mišića elektronskim stetoskopom i EKG-om (slika 6) uočava se sličnost talasnih oblika odnosno mogu se jasno uočiti vremeski trenuci pojedinih faza rada srčanog mišića. Sličan talasni oblik se dobija za filtrirani signal pri ostalim uslovima eksperimenta.



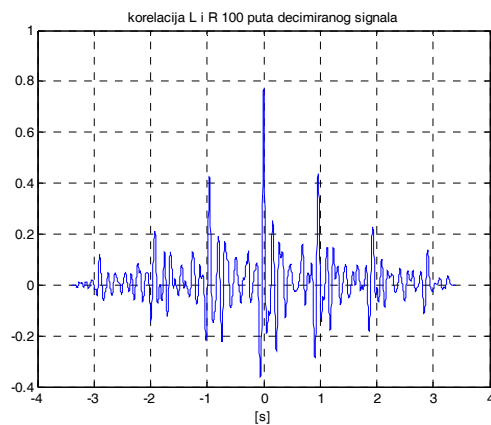
Slika 6 Vremenski sled srčanih impulsa [4].

Na snimku signala u ušnom kanalu (Slika 5) uočavaju se faza zatvaranja i faza otvaranja srčanih zalizaka tako da je moguće pratiti funkciju rada srca. Autokorelaciona funkcija ukazuje na periodičnost srčanog ritma za vremenski prozor od jedne sekunde. Ova vrednost odgovara srčanom ritmu od 1 Hz što je blisko broju otkucaja srca od 61 otkucaja/minuti izmerenog aparatom za merenje pritiska za subjekta M.V. čiji je snimak prikazan. Merenjem rastojanja između maksimuma talasnog oblika pri zatvaranju srčanih zalizaka uočava se da postoji vremenska razlika od par milisekundi između sukcesivnih maksimuma. Poreklo ove vremenske razlike može biti usled funkcije rada srca ili usled primenjene digitalne filtracije. Da bi se odgovorilo na ovo pitanje neophodna su dalja istraživanja.

Pokazuje se da postoji visoka korelacija (0.78) snimljenih signala na levom i desnom uhu (Slika 6 b) koji potiču od srčanog ritma.



a)



B)

Slika 6 Autokorelacija (a) i kroskorelacija (b) snimljenog signala u ušnom kanalu pri uslovu eksperimenta "ne diše" filtriranog filtrom propusnikom niskih učestanosti.

Na vrednost koeficijenta korelacije utiče trajanje stimulusa u kome se računa korelacija što je i očekivano. Međutim uočava se da u oblastima gde nema biološkog šuma (odnosno gde šum verovatno potiče od sopstvenog šuma merne aparature mikrofona, pojačavača) koeficijent korelacije ima značajno nižu vrednost. Detaljnija analiza

kao i analiza u prisustvu spoljašnje buke pokazace da li segmenata u kojima postoje biološki signali od segmenata u kojima oni nisu prisutni. To bi doprinelo da se pri merenju OAE uzimaju samo oni segmenti u kojima je odnos korisnog signala otoakustičke emisije i ukupnog šuma najpovoljniji. Visoke vrednosti koeficijenta korelacije između signala u levom i desnom ušnom kanalu, u trenutcima kada postoji biološki šum, upućuju nas na zaključak da postoje realne pretpostavke za primenu algoritama za potiskivanje biološkog šuma, prilikom merenja signala OAE.

TABELA 1: RELATIVNI INTENZITET SNIMLJENIH STIMULUSA

	Ne diše	diše na usta	dišena nos i usta	diše na nos	diše na nos i pomera glavu	duboko diše na nos	duboko diše na usta
Srednja vrednost (dB)	7.6	10.9	12.2	11.3	17.1	16.9	19.0
Standardna greška	0.8	1.0	1.0	1.2	1.1	1.2	1.4
Standardna devijacija	2.9	3.8	3.9	4.4	4.0	4.6	5.4
Varijansa	8.7	14.5	15.3	19.1	16.1	21.1	29.1

U Tabeli 1 date su srednje vrednosti relativnih intenziteta snimljenih stimulusa za sve subjekte. Najintenzivniji su stimulusi pri uslovu eksperimenta "duboko diše na usta" dok je najmanji intenzitet stimulusa pri uslovu eksperimenta "ne diše". Vidi se da postoji razlika u intenzitetu kada subjekti ne dišu, dišu "normalno" i duboko dišu. Pokazuje se da je ova razlika u intenzitetu između grupa statistički značajna ( $p < 0.001$ ). Detaljnija analiza na većem uzorku daće odgovor da li se na osnovu intenziteta biološkog šuma može pouzdano zaključivati o njegovom poreklu.

## I. ZAKLJUČAK

Preliminarni rezultati analize bioloških šumova u ušnom kanalu ukazali su:

- da se biološki šumovi mogu snimiti u ušnom kanalu kada nema spoljašnje buke,
- da se biološki šumovi mogu razlikovati auditivnim i vizuelnim putem,
- da na posmatranom uzorku postoje statistički parametri kojima se mogu opisati pojedini biološki šumovi i da ti parametri mogu poslužiti za prepoznavanje pojedinih bioloških šumova,

ova činjenica može omogućiti razdvajanje vremenskih

- da postoji korelacija između signala snimljenih istovremeno na levom i na desnom uhu,
- da je koeficijent korelacije veći u trenutcima kada postoji biološki šum,
- da je na osnovu vrednosti koeficijenta korelacije moguće razdvojiti segmente u kojima postoji biološki šum od segmenata u kojima ga nema.

Ovi rezultati pokazuju da je pri određenim uslovima snimanja moguće kvalitativno opisati biološke šumove koji se javljaju u spoljašnjem slušnom kanalu. Dalja istraživanja će pokazati da li se statistički podaci dobijeni iz bioloških šumova snimljenih u ušnom kanalu mogu koristiti kao dijagnostički podaci u kardiologiji i pulmologiji.

Dobijeni rezultati su prvi krak u analizi i opisivanju šuma koji se javlja u ušnom kanalu pri snimanju OAE. Dalja istraživanja će pokazati da li je moguće razdvojiti biološki šum od šuma nastalog usled spoljašnje buke. Ona treba da daju odgovor da li je moguće i ako jeste koji je od algoritama za potiskivanje šuma najprimenljiviji.

## LITERATURA

- [1] Kemp D.T., "Stimulated acoustic emission from within the human auditory system". *Journal of the Acoustical Society of America*, 64, 1386-1391, 1978
- [2] Subotić M., Jovičić S., "Vrste otoakustičkih emisija", poglavlje u monografiji "Otoakustička Emisija teorija i praksa", 2005, IEFPG, PALO, ISBN 86-818779-10-3
- [3] 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.
- [4] MB Malarvili, I Kamarulafizam, S Hussain, D Helmi, Heart Sound Segmentation Algorithm Based on Instantaneous Energy of Electrocardiogram, *Computers in Cardiology* 2003;30:327-330

## ABSTRACT

Noise existing in outer ear canal have significant influence on OAE measurements. Characterization of the noise can contribute in development of efficient noise canceling algorithms. Noise in ear canal can be external and internal. External is due to environmental noise and we can have partly influence on it. Internal are due to biological noise and they are result of body functioning, and always exist. In the work we analyzed biological noise sources in ear canal.

## EAR CANAL BIOLOGICAL NOISE

Miško Subotić, Milan Vojnović