

# Efekat dejstva akustičke smetnje tipa vetar na razumljivost govora

Zoran Milivojević, Dijana Kostić, Zoran Veličković  
Visoka Tehnička Škola Strukovnih Studija  
Niš, Srbija  
zoran.milivojevic@vtsnis.edu.rs, koricanac@yahoo.com,  
zoran.velickovic@vtsnis.edu.rs

Darko Brodić  
Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru  
Bor, Srbija  
dbrodic@tf.bor.ac.rs

**Sažetak**— U ovom radu izvršena je procena uticaja akustičke smetnje nastale od dejstva vetra, na razumljivost reči i rečenica izgovorenih na srpskom jeziku. Opisan je eksperiment u okviru koga je testirana razumljivost govora primenom objektivnog (STOI) i subjektivnog (MOS) testa. Test rečenice su formirane iz SMST baze i superponirana im je akustička smetnja tipa vetar. Eksperiment je realizovan za neke vrednosti SNR. Rezultati testiranja predstavljeni su tabelarno i grafički. U drugom delu rada izvršena je komparativna analiza razumljivosti kod dejstva šumova tipa: muzičkih i industrijskih, Gausovog i babble šuma. Klasifikacija razumljivosti izvršena je prema međunarodnom standardu IEC 60268-16:2011.

**Ključne riječi**- razumljivost; šum vetra; SMST; MOS, STOI.

## I. UVOD

Razumljivost predstavlja jednu od najvažnijih karakteristika govornih komunikacija. U prisustvu akustičkih smetnji (Gausov, babble, industrijski, muzički šum, ...) dolazi do izobličenja i smanjenja razumljivosti govora. Procena razumljivost govora može se izvršiti pomoću subjektivne i objektivne metode. Subjektivne metode podrazumevaju testiranje osoba najčešće pomoću MOS (**eng. Mean Opinion Score, MOS**) testa primenom test rečenica i/ili reči. Objektivne metode podrazumevaju korišćenje odgovarajućeg test algoritma za procenu razumljivosti, koji izvršava računar kao što je STOI (**eng. Short Time Objective Intelligibility, STOI**) test [1]. Koriste se testovi sa različitim govornim materijalom (**eng. speech material**): logatomi [2], fonetski balansirane liste reči [3], rečenice (svakodnevne [4] i rečenice sa fiksnom sintaksnom strukturom [5]). Logatomi su posebno formirane jednoznačne reči bez smisla. Struktura logatoma je definisana je na sledeći način: konsonant, vokal, konsonant, vokal. U zavisnosti od kombinacije glasova mogu se podeliti na tipove: CVC [2], CCV, afrikati, nazali, laterali, plozivi i frikativi. Fonetski balansirane liste reči sadrže jednosložne CNC reči, formirane tako da zastupljenost fonema bude ujednačena. Ova vrsta testa najzastupljenija je za američki engleski [3]. Zbog ograničenog broja reči u listi može se lako zapamtiti, pa se jedna osoba ne može dva puta testirati. Svakodnevne rečenice podrazumevaju rečenice koje se koriste u svakodnevnoj komunikaciji [4]. To su semantički logične rečenice, pa zbog toga ispitanik lako može naslutiti smisao rečenice, što može uticati na objektivnost dobijenih rezultata. Rečenice sa fiksnom sintaksnom strukturom tzv. matrični rečenični test ima strukturu vrsta reči: ime, glagol, broj, pridev, imenica [5]. Ove vrste reči

moguće je međusobno kombinovati tako da se svaki put dobije različita rečenica, koja ne mora biti semantički ispravna. Zbog velikog broja novoformiranih rečenica ovaj test se može primenjivati više puta kod istog ispitanika.

U ovom radu opisan je uticaj akustičkog signala smetnje, tipa vetar (**eng. Wind Noise, WN**), na razumljivost reči i rečenica izgovorenih na srpskom jeziku. Na Visokoj tehničkoj školi u Nišu sproveden je eksperiment u cilju određivanja razumljivosti. Formirana je testna grupa sastavljena od studenata bez oštećenja sluha. Kao baza govornog materijala korišćene su rečenice kreirane iz baze Srpskog Matričnog Testa (**eng. Serbian Matrix Sentence Test, SMST**) [6]. WN šum, koji se superponira rečenicama dobijen je iz baze šuma [7].

Rezultati subjektivnog MOS i objektivnog STOI testa razumljivosti pojedinih tipova reči kao i celih rečenica, prikazani su tabelarno i grafički. Na osnovu analize dobijenih rezultata i poređenja sa rezultatima [8], [9], [10], [11] i međunarodnim standardom IEC 60268-16:2011 donosi se zaključak o razumljivosti.

Organizacija rada je sledeća. U odeljku II opisan je WN šum. Odeljak III prikazuje eksperiment, rezultate eksperimenta i komparativnu analizu dobijenih rezultata. Odeljak IV predstavlja zaključak.

## II. SIGNAL SMETNJE WN

Vetar predstavlja turbulentno kretanje vazduha. Ovaj turbulentni protok vazduha izaziva fluktuacije pritiska koji deluje na bubnu opnu čoveka što nervni sistem za sluh doživljava kao akustičku smetnju. Šum nastao od vetra predstavlja posebnu klasu akustičkih nestacionarnih smetnji. U slučaju superponiranja govornom signalu, akustička smetnja tipa WN utiče na degradaciju kvaliteta govora. Samim tim ona utiče i na razumljivost govora [12]. Efekat dejstva vetra na razumljivost govora eksperimentalno je testirana i rezultati su prikazani u narednoj sekciji.

## III. EKSPERIMENTALNI REZULTATI I ANALIZA

Eksperimentalnim putem izvršeno je testiranje razumljivosti u uslovima pozadinske smetnje nastale od dejstva turbulentnog vazduha, odnosno vetra (WN). Vrednosti parametra SNR (**eng. Signal Noise Ratio**) za koje je vršeno

testiranje su  $SNR = \{-8, -10, -12, -15\}$  dB. Testiranje je sprovedeno na Visokoj tehničkoj školi u Nišu nad testnom grupom formiranom od studenata. Realizovano je: a) subjektivno (MOS test) i b) objektivno (STOI algoritam) testiranje. Rezultati MOS i STOI testa odnose se na razumljivost: a) vrste reči i b) celih rečenica. Rezultati su prikazani tabelarno i grafički.

#### A. Eksperiment

Experiment testiranja razumljivosti reči i rečenica u srpskom jeziku sastoji se sledećih koraka:

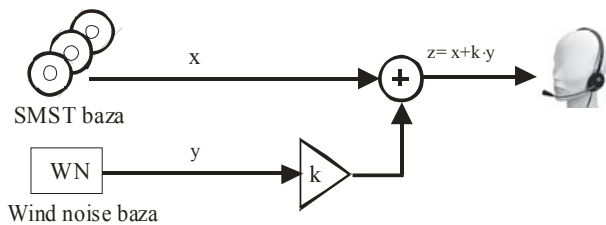
*Korak 1:* generisanje rečenica iz SMST baze,

*Korak 2:* generisanja signala smetnje WN,

*Korak 3:* formiranje govornog signala sa superponiranom smetnjom sa specificiranim SNR,

*Korak 4:* MOS i STOI test.

Na slici 1 prikazana je blok šema ekperimenta. Signal  $x$ , predstavlja čist govorni signal dobijen iz SMST baze,  $y$  signal smetnji WN i  $z$  predstavlja govorni signal sa superponiranom smetnjom WN i odgovarajućim SNR-om.

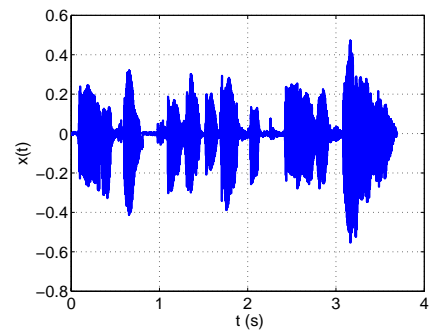


Slika 1. Blok šema formiranja generisanog signala  $z$ , za MOS test.

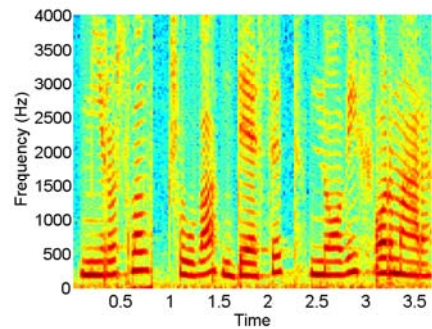
##### 1) SMST baza

Za potrebe testiranja razumljivosti reči i rečenica izgovorenih na srpskom jeziku, autori su formirali SMST bazu [6] po ugledu na bazu za švedski jezik [5]. Baza sadrži 50 reči (po 10 od svake vrste reči: ime, glagol, broj, pridev, imenica), čija kombinacija poštujući sintaksnu strukturu matičnog testa formira 100000 rečenica. Rečenice za testiranje, prema slučajnom zakonom, generišu se iz SMST baze. Generisanoj rečenici superponira se signal smetnje WN i menja koeficijent  $k$ , kojim se definiše SNR.

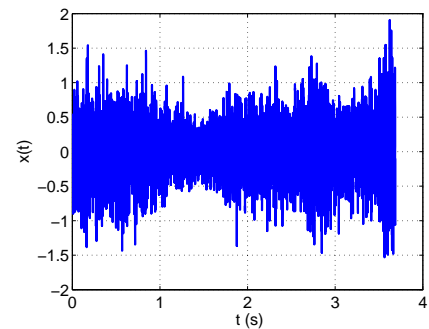
Na sl. od 2 do 7 prikazan je primer rečenice „Miroslav čuva deset starih ormara”, formirane iz SMST baze. Saglasno obeležavanju na blok šemi sa sl. 1, prikazani su vremenski i spektralni oblik signala korišćenih u procesu testiranja. Vremenski oblik govornog signala  $x$ , prikazan je na sl. 2, a spektrogram govornog signala  $x$  na sl. 3. Sl. 4 predstavlja vremenski oblik signala smetnje  $y$ , dok je na sl. 5 spektrogram signala smetnje  $y$ . Na sl. 6 prikazan je vremenski oblik govornog signala sa superponiranom smetnjom  $z$ , za  $SNR = -10$ dB, a na sl.7 prikazan je spektrogram govornog signala sa superponiranom smetnjom  $z$ .



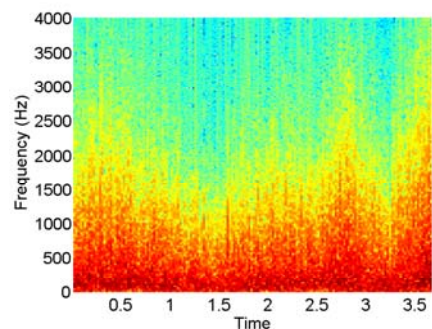
Slika 2. Vremenski oblik čistog govornog signala  $x$ .



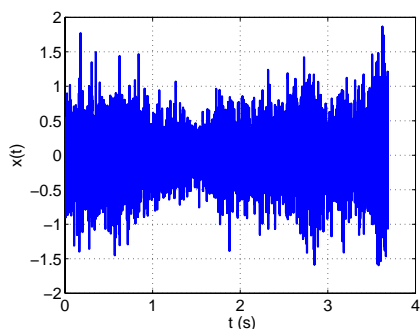
Slika 3. Spektrogram čistog govornog signala  $x$ .



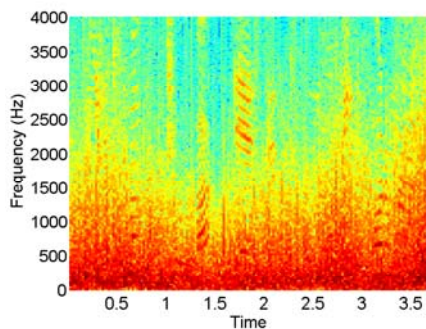
Slika 4. Vremenski oblik signala smetnje  $y$ .



Slika 5. Spektrogram signala smetnje  $y$ .



Slika 6. Vremenski oblik govornog signala sa superponiranom smetnjom z.



Slika 7. Spektrogram govornog signala sa superponiranom smetnjom z.

## 2) WN baza

Za potrebe testiranja razumljivosti korišćena je WN baza iz [6]. Signali smetnje WN snimljeni su na otvorenom, i to za normalne i velike brzine vetra. Snimljeni signali su zapamćeni u wav formatu ( $F_s=44,1$  kHz, 2 Bps).

## 3) Testna grupa

Testna grupa formirana je od studenata Visoke Tehničke škole strukovnih studija u Nišu. Grupu su činile 24 osobe, 14 muških i 10 ženskih osoba, starosti od 21÷26 godine (srednja vrednost 21,21). Članovi testne grupe su sa normalnim, odnosno neoštećenim sluhom.

## 4) MOS test

MOS test je verovatno najšire korišćena i najjednostavnija metoda za procenu kvaliteta govora. Testiranje ispitanika izvršeno je pomoću MOS testa otvorenog tipa u prostorijama Visoke tehničke škole strukovnih studija u Nišu. Za potrebe eksperimenta formirana je lista od 48 rečenica. MOS test organizovan je na sledeći način. Nakon reprodukcije testnog signala z, putem slušalica, ispitanik je ponavljao naglas reprodukovani signal onako kako je razumeo. Ispitivač je beležio tačne i netačne odgovore. Nakon toga statističkom analizom određen je stepen razumljivosti pojedinih tipova reči i celih rečenica.

## 5) STOI test

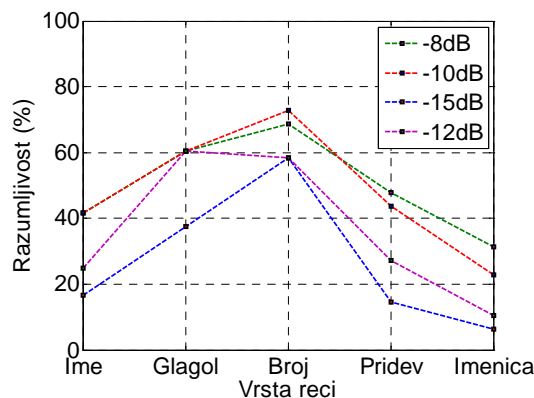
STOI (**eng. Short Time Objective Intelligibility**) test se koristi za objektivno merenje razumljivosti govora. Test je napravljen tako da predviđi razumljivost govora pomoću algoritma. Čist govorni signal i signal smetnje treba da budu usklađeni sa vremenom [1].

## B. Rezultati

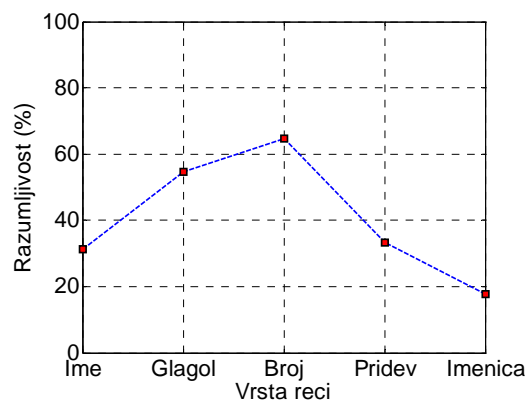
Rezultati testiranja dobijeni pomoću MOS testa prikazani su tabelarno u Tabeli I i grafički na sl. 8 i 9. Na sl. 10 i tabeli I, prikazani su rezultati STOI testa. Parametri korišćeni za STOI test su  $N = 30$  i  $\beta = -15$  dB [1].

TABELA I. RAZUMLJIVOST VRSTA REČI I REČENICA

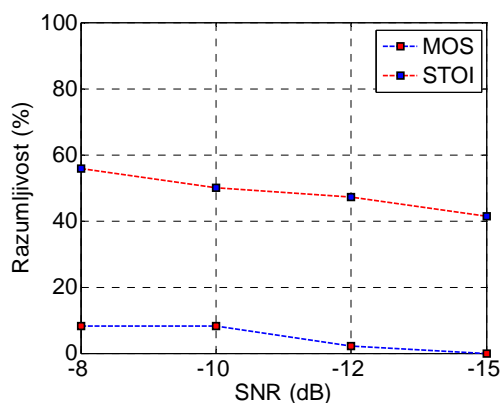
Vrsta reči	SNR (dB)				
	-8	-10	-12	-15	$\bar{r}$
Ime	41,57	41,57	25,00	16,67	31,20
Glagol	60,42	60,42	60,42	37,50	54,69
Broj	68,75	72,92	58,33	58,33	64,58
Pridev	47,92	43,75	27,08	14,58	33,33
Imenica	31,25	22,92	10,42	6,25	17,71
Rečenica	8,33	8,33	2,08	0	4,68
STOI	55,82	49,94	47,10	41,51	48,59



Slika 8. Razumljivost vrste reči za različite vrednosti SNR-a



Slika 9. Srednja vrednost razumljivosti ( $\bar{r}$ ) vrsta reči



Slika 10. Razumljivost rečenica MOS testa i STOI algoritama

U tabeli II prikazani su rezultati uticaja muzičkih i industrijskih šumova, Gausovog i babble šuma na razumljivost govora za vrednost parametara SNR = -10dB.

TABELA II. RAZUMLJIVOST VRSTA REČI [8],[9], [10], [11]

Vrsta šuma	Razumljivost (%) za SNR= -10 dB				
	Ime	Glagol	Broj	Pridev	Imenica
Gaus [8]	20	13,33	10	3,33	13,33
Babble [9]	0	0	0	0	0
Muziči (Dur klavir) [10]	88	84	56	68	76
Muziči (Dur harmonika)[10]	12	12	16	4	24
Muziči (Mol klavir) [10]	84	80	72	60	64
Muziči (Mol harmonika)[10]	12	16	32	28	28
Industrijski - Hilti [11]	50	21,43	21,43	7,14	21,42
Industrijski - Bušilica za beton [11]	60,71	35,71	57,14	25	28,57
Industrijski - Bušilica [11]	92,86	89,89	92,86	75	82,14
Industrijski - Brusilica [11]	82,14	57,14	67,86	60,71	67,86

### C. Analiza rezultata

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli I i sl. 8 dolazi se do zaključka da je razumljivost vrste reči:

a) 'Ime' najbolja za -8 i -10 dB (41,67%), a najlošija za -15 dB (16,67%);

b) 'Glagol' najbolja za -8, -10, -12 dB (60,42%), a najlošija za -15dB (37,50%);

c) 'Broj' najbolja za -10 dB (72,92%), a najlošija za -12 i -15 dB (58,33%);

d) 'Pridev' najbolja za -8 dB (47,92%), a najlošiji za -15dB (14,58%);

e) 'Imenica' najbolja za -8 dB (31,25%), a najlošija za -15dB (6,25%).

Na osnovu rezultata sagledanih u tabeli I i sl.9 dolazi se do zaključka da je srednja vrednost razumljivost vrste reči: a) najbolja za broj (64,58%), b) najlošija za imenicu (17,71%).

Na osnovu rezultata u tabeli I i sl. 10 dolazi se do zaključka da je razumljivost rečenica: a) najbolja za -8 i -10 dB (8,33%), b) najlošija za -15 dB (0%).

Na osnovu rezultata sa sl.10 i tabele I, dolazi se do zaključka da je razumljivost dobijena STOI testom: a) najbolja za -8 dB (55,82%), b) najlošija za -15 dB (41,51%).

Komparativnom metodom rezultata za SNR = -10 dB, datim u tabeli II, za Gausov, babble, muzički i razne vrste industrijskog šuma (hilti, bušilica za beton, bušilica, brusilica) može se zaključiti da najviše uticaja na razumljivost govora ima babble šum, tj. on najviše vrši degradaciju govornog signala. Najbolja razumljivost zapaža se kod industrijskog šuma, tipa bušilica, koja od 1,27÷3,58 puta ima bolju razumljivost od šuma WN (ime: 2,23, glagol: 1,49, broj: 1,27, pridev: 1,71, imenica: 3,58 puta).

Poređenjem sa međunarodnim standardom IEC 60268-16: 2011 zapaža se da se razumljivost u prisustvu WN šuma (0÷72,92%) kreće u granicama od loše do slabe razumljivosti.

## IV. ZAKLJUČAK

Na osnovu sagledavanja rezultata testiranja razumljivosti, MOS i STOI testom, granice u okviru kojih se kreće razumljivost su: a) vrste reči: *Ime* (16,67÷41,57%), *Glagol* (37,50÷60,92%), *Broj* (58,33÷72,92%), *Pridev* (14,58÷47,92%), *Imenica* (6,25÷31,25%), b) reči (srednja vrednost): od 17,71÷64,58%) i c) rečenica od 0÷8,33%, odnosno od 41,51÷55,82%. Poređenjem dobijenih rezultata sa standardom IEC 60268-16: 2011 dolazi se do zaključka da je razumljivost pripada kategorijama „loše“ (0÷67%) i „slabe“ (67÷78%) razumljivosti. Objašnjenje za ovakvu razumljivost nalazi se u raspodeli energije u spektru govornog signala i signala šuma WN.

## LITERATURA

- [1] C. H. Tall, R. C. Hendriks, R. Heusdens, J. Jensen, "An algorithm for intelligibility prediction of time-frequency weighted noise speech," EEE Transactions on audio, speech, and language processing, vol 19, no. 7, september, 2011.
- [2] D. Kostić, Z. Milivojević, V. Stojanović, "The Evaluation of Speech Intelligibility in the Orthodox Church on the Basis of MOS Test Intelligibility Logatom Type CCV", ICEST 2016, Ohrid, Macedonia, pp. 153-156, 2016.
- [3] T.W. Tillman, R. Carhart, L. Wilber, "An Expanded Test for Speech Discrimination Utilizing CNC Monosyllabic Words," Northwestern University Auditory Test No. 6. Technical Report, SAM-TR-66-55. Brooks Air Force Base, TX: USAF School of Aerospace Medicine, Aerospace Medical Division (AFSC), 1963.
- [4] R. Plomp, A.M. Mimpfen, "Improving the reliability of testing the speech reception threshold for sentences". Audiology, 18, 43-52, 1979.
- [5] B. Hagerman, "Sentences for testing speech intelligibility in noise," Scand Audio, Vol. 11, pp. 79-87, 1982.

- [6] Z. Milivojević, D. Kostić, Z. Veličković, D. Brodić, "Serbian sentence matrix test for speech intelligibility measurement in different reverberation conditions," UNITEH Gabrovo, pp. - , 2016.
- [7] <https://www.iks.rwth-aachen.de/en/research/tools-downloads/databases/wind-noise-database>
- [8] Z. Milivojević, D. Kostić, D. Brodić, "Performanse razumljivosti Srpskog MST-a u prisustvu akustičkog Gausovog šuma", INFOTEH Jahorina, pp. 327-332, 2017.
- [9] Z. Milivojević, D. Kostić, Z. Veličković, D. Brodić, "Performance of the Serbian Matrix Sentence Test in presence of the Babble Noise," IT Žabljak, pp-, 2017.
- [10] D. Kostić, Z. Milivojević, Z. Veličković, "The influence of musical noise, type major and minor chord, to the intelligibility of speech in Serbian language," UNITEH Gabrovo, pp. - , 2017.
- [11] Z. Milivojević, D. Kostić and D. Brodić, "The Influence of Industrial Noise on the Performance of Speech Intelligibility Serbian Sentence Matrix Test," ICEST Niš, pp-, 2017.
- [12] C. Nelke, N. Chatlani, C. Beaugeant, and P. Vary, "Single microphone wind noise PSD estimation using signal centroids," in Proc. of IEEE Intern. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Process. (ICASSP), Florence, Italy, May 2014.

#### ABSTRACT

In this paper an evaluation was made of the impact acoustic interference made by wind, on the intelligibility of words and sentences spoken on the Serbian language. An experiment was described in which was tested speech intelligibility using an objective (STOI) and subjective (MOS) test. Test sentences are formed from the SMST base and they were superimposed by the acoustic interference type wind noise. The experiment was realized for some values of SNR. The results of the tests are shown in tabular and graphical form. In the second part of the paper, a comparative analysis of intelligibility was made with the effects different noise type: music and industrial, Gaussian and babble noise. The classification of intelligibility has been made according to the international standard IEC 60268-16: 2011.

#### **THE EFFECT OF ACOUSTIC INTERFERENCE TYPE WIND NOISE ON THE INTELLIGIBILITY OF SPEECH**

Zoran Milivojević, Dijana Kostić, Zoran Veličković,  
Darko Brodić