

# Realizacija softvera za merenje i analizu buke

Draško Mašović, Miomir Mijić, Jelena Čertić

**Sadržaj** — Istraživanja u oblasti komunalne buke, kakva se na primer zahtevaju u procesu akustičkog zoniranja naselja, ponekad zahtevaju analize koje se ne mogu obaviti koristeći standardne fonometre. Ovaj problem se može prevazići realizacijom namenskog istraživačkog alata za merenje i analizu buke. U ovom radu je prikazan softver koji je napravljen da bude sastavni deo takvog alata. Opisane su njegove funkcije i demonstrirani rezultati primene na jednom praktičnom primeru.

**Ključne reči** — buka, ekvivalentni nivo, merenje buke

## I. UVOD

MERENJE buke u životnoj sredini detaljno je regulisano međunarodnim i odgovarajućim domaćim standardima [1,2]. Njima su precizno propisane procedure kojim se utvrđuje stanje buke na mestima gde postoji razlog za proveru. Za takva merenja na tržištu postoji širok izbor fonometara različitih preciznosti i složenosti. Mogućnosti najsloženijih među njima daleko prevazilaze okvire provere stanja buke i uobičajeno su snabdeveni dodatnim softverskim opcijama. Tako sofisticirani modeli fonometara omogućavaju još i merenje zvučne izolacije, vremena reverberacije, a dvokanalni modeli omogućavaju i merenje intenziteta.

Međutim, i pored visoke sofisticiranosti savremenih fonometara, potrebe kontrole buke u životnoj sredini ponekad zahtevaju istraživačke analize koje prevazilaze mogućnosti standardnih mernih uređaja. To je, na primer, slučaj pri analizi vremenskih karakteristika buke, koje su osnova za akustičko zoniranje naselja. U takvim situacijama neophodna je na odabranim mikro lokacijama naselja vršiti analizu buke koja je kompleksnija od jednostavnog utvrđivanja statističkih podataka u 15-minutnom intervalu, ili tokom perioda dana i noći. Tako je nastala potreba za fleksibilnijim istraživačkim alatom, kojim bi se analiza buke mogla realizovati na različite nestandardne načine.

Sa takvom polaznom potrebom organizovan je poseban istraživački alat, koncipiran tako da omogućiti analize koje mogu biti od interesa pri sagledavanju stanja buke u naseljima. On se sastoji od nekoliko hardverskih

elemenata i dve softverske aplikacije. Hardverski delovi alata su merni mikrofoni, kalibrator i prenosni digitalni snimač audio signala. Pomoću njih je moguće kalibrisano snimiti buku u bilo kom okruženju i u bilo kom periodu dana, uključujući celodnevna kontinualna snimanja, pa i duže.

Različite načine analize snimljenih signala van realnog vremena omogućavaju dve softverske aplikacije. Osnovna aplikacija je posebno napravljena, i njome se izvršavaju procedure merenja i analize pripremljenih signala, a kao pomoćna aplikacija koristi se komercijalni program za editovanje snimljenog signala (na primer *Sound Forge* ili neki od njemu sličnih programa). U aplikaciji za editovanje izdvajaju se delovi signala koje treba analizirati, a moguća je i montaža pojedinih delova realnih signala, u skladu sa potrebama istraživanja (na primer da se u snimljeni 15-minutni interval buke umetne odgovarajući broj preleta aviona, prolazaka automobila ili slično).

U ovom radu je detaljnije prikazana namenski napravljena softverska aplikacija, koja je deo formiranog istraživačkog alata. Ona služi za merenje i analizu prethodno pripremljenih signala snimljene buke.

## II. FUNKCIJE SOFTVERA ZA MERENJE I ANALIZU BUKE

Računarski program, realizovan u softverskom paketu „Matlab“, predstavlja aplikaciju specijalizovanu za merenje i analizu nivoa zvuka, pre svega komunalne buke, van realnog vremena. Ulazni signali nad kojima se sprovodi merenje su WAV nekomprimovani fajlovi. Rezultati se prikazuju u okviru grafičkog korisničkog interfejsa i čuvaju u *Excel* fajlovima. Za izračunavanje apsolutnog nivoa zvuka osim snimljenog signala buke potreban je i kalibracioni signal poznatog nivoa, snimljen pod istim uslovima (identičnom mernom opremom, sa jednakim pojačanjem). Zato ulazne podatke za rad softvera čine dva WAV fajla sa snimljenim signalima, od kojih je jedan kalibracioni, a drugi analizirani signal buke. Prethodna priprema WAV fajlova sa snimcima može se izvršiti u bilo kom softveru za editovanje audio zapisa (*Sound Forge* i sličnim). Nakon učitavanja oba signala i unošenja apsolutnog kalibracionog nivoa (u dB<sub>L</sub> ili dB<sub>A</sub>), moguće je pokrenuti analizu unutar programa. Osnovni rezultat analize je promena nivoa signala u vremenu (u dB<sub>L</sub> ili dB<sub>A</sub>), uz korišćenje standardnih vremenskih konstanti – „fast“ (125 ms) i „slow“ (1 s). Za potrebe merenja buke u prozoru programa prikazuju se i sekundni i osmočasovni nivoi izloženosti buci, izračunati nad širokopojasnim signalom, prema formuli [3]:

Draško Mašović, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd, Srbija; (telefon: 381-64-4604564; e-mail: drasko.masovic@gmail.com).

Miomir Mijić, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd, Srbija; (e-mail: emijic@etf.rs)

Jelena Čertić, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd, Srbija; (certic@telekom.etf.rs)

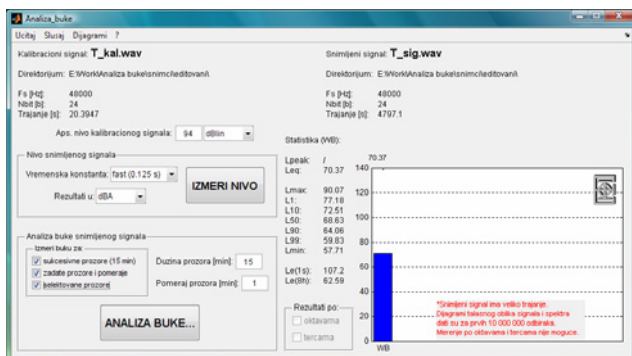
$$L_e = L_{eq} + 10 \cdot \log_{10} \frac{T}{T_n}, \quad (1)$$

gde je  $L_{eq}$  izmereni ekvivalentni nivo zvučnog pritiska,  $T$  vremenski interval merenja, a  $T_n$  referentni vremenski interval od 1 s ( $L_{e(1s)}$ ), odnosno 8 h ( $L_{e(8h)}$ ). Program dalje vrši izračunavanje ekvivalentnog nivoa zvuka nad celim signalom, minimalne i maksimalne vrednosti, kao i parametara kumulativne statističke raspodele nivoa zvuka: L1, L10, L50, L90 i L99 (broj uz L-parametar predstavlja procenat vremena u kome nivo zvuka premašuje vrednost L-parametra). Sve veličine mogu se izračunati u oktavnim i tercnim frekvencijskim opsezima. Ipak, zbog procesorskih i memorijskih ograničenja, oktavna i terčna analiza mogu se sprovesti samo nad snimcima ograničenog trajanja (do 10 miliona odmeraka, odnosno nekoliko minuta trajanja signala, u zavisnosti od korišćene frekvencije odmeravanja). Vremensku promenu nivoa moguće je odrediti za bilo koje trajanje snimljenog signala. To program čini praktičnim i za analizu dugačkih snimaka, što je čest slučaj pri merenjima komunalne buke. Proces obrade će svakako trajati duže za veće ulazne fajlove, ali u uobičajenim slučajevima ne više od nekoliko minuta. Na kraju, svi važniji rezultati prikazani su u okviru prozora programa numerički i grafički.

Polazni motiv za izradu softvera bila je potreba za analiziranjem buke životne sredine. Stoga je poseban njegov deo namenjen analizi nivoa snimljenog zvučnog signala sa stanovišta merenja buke. On omogućava korisniku detaljniju analizu snimljenog signala buke, a kao ulazne podatke koristi rezultate prvog dela programa. Pod detaljnijom analizom podrazumeva se računanje ekvivalentnog nivoa zvuka u uobičajeno korišćenim, sukcesivnim vremenskim prozorima dužine 15 min [1], ili prozorima čije trajanje i pomeraj definiše sam korisnik. Na kraju, ostavljena je i mogućnost izračunavanja ekvivalentnog nivoa u pojedinim delovima signala, odabranim od strane korisnika. Rezultati ovih analiza smeštaju se u poseban *Excel* fajl.

### III. KORISNIČKI INTERFEJS

Na Sl. 1. prikazan je grafički korisnički interfejs programa. Prozor programa, uz padajuće menije na vrhu, podeljen je u četiri sekcije. U nastavku su dati detaljniji prikazi i opisane funkcije svake od njih.



Sl. 1. Glavni prozor programa.

#### A. Padajući meniji

Program sadrži četiri padajuća menija sledeće strukture:

##### 1) Ucitaj

- *Kalibracioni signal...* (otvara prozor za učitavanje kalibracionog signala)

- *Snimljeni signal...* (otvara prozor za učitavanje signala za merenje)

##### 2) Slusaj

- *Kalibracioni signal* (reprodukuje prvih 5 sekundi kalibracionog signala)

- *Snimljeni signal* (reprodukuje prvih 5 sekundi signala za merenje)

##### 3) Dijagrami

- *Kalibracioni signal – talasni oblik* (prikazuje dijagram promene amplitude kalibracionog signala u vremenu)

- *Kalibracioni signal – spektar* (prikazuje dijagram spektra kalibracionog signala)

- *Snimljeni signal – talasni oblik* (prikazuje dijagram promene amplitude signala za merenje u vremenu)

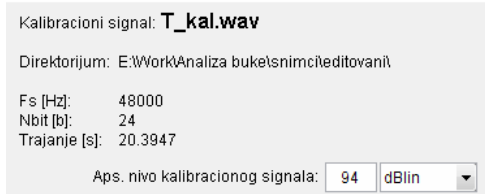
- *Snimljeni signal – spektar* (prikazuje dijagram spektra signala za merenje)

- *Promena nivoa* (prikazuje dijagram promene nivoa signala za merenje u vremenu)

- *Izmereni spektar* (prikazuje dijagram oktavnog i tercnog spektra signala za merenje)

#### B. Sekcija 1: Kalibracioni i snimljeni signal

Ova sekcija nalazi se u gornjem delu prozora programa, neposredno ispod padajućih menija. Obuhvata osnovne informacije o fajlovima sa kalibracionim i signalom merenja (na Sl. 2. prikazan je samo deo sa podacima o kalibracionom signalu) i deo za unos apsolutnog nivoa kalibracionog signala. Ostavljena je i mogućnost izražavanja vrednosti apsolutnog nivoa kalibracionog signala u dBA. To može biti od koristi u situacijama kada korisnik umesto kalibratorom, a raspolaže standardnim fonometrom (ili nekim drugim uređajem za merenje nivoa A-ponderisanog zvučnog pritiska). Kalibracija se tada postiže istovremenim snimanjem i merenjem fonometrom bilo kog zvučnog signala, koji se onda pri analizi, učitava u program kao kalibracioni, a očitana vrednost ekvivalentnog nivoa zvuka se unosi kao njegov apsolutni nivo.

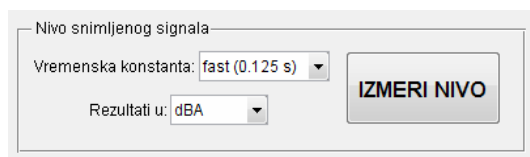


Sl. 2. Sekcija 1: Kalibracioni i snimljeni signal (prikazan je samo kalibracioni).

#### C. Sekcija 2: Merenje nivoa snimljenog signala

Sekcija 2 (Sl. 3.) nalazi se u levom delu prozora, ispod sekcije 1, i pruža opcije za merenje nivoa snimljenog

signala: veličina vremenske konstante („fast“ – 125 ms ili „slow“ – 1 s) i odabir jedinice merenja (dBlin ili dBA). Sadrži i dugme za aktiviranje merenja, nakon unosa parametara.

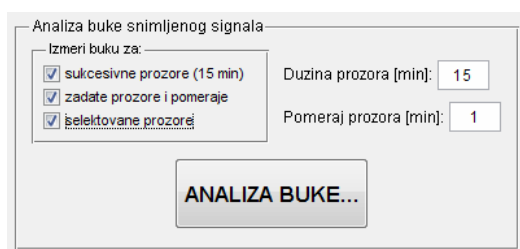


Sl. 3. Sekcija 2: Merenje nivoa snimljenog signala.

Rezultat ovog dela programa je *Excel* fajl ekstenzije .xls, u kome su osim osnovnih informacija o snimljenom signalu (naziv fajla i direktorijum, frekvencija odmeravanja, broj bita po odmerku i trajanje signala) sačuvani i ekvivalentni, maksimalni i minimalni nivo, statistički parametri kumulativne funkcije raspodele i promena nivoa zvuka po vremenu, u odabranoj mernoj jedinici i sa izabranom vremenskom konstantom.

#### D. Sekcija 3: Merenje nivoa snimljenog signala buke

Ova sekcija omogućava korisniku da definiše trajanje i pomeraj vremenskih prozora u kojima će meriti ekvivalentni nivo zvuka ili da koristi predefinisane sukcesivne prozore trajanja 15 min. Takođe, ostavljena je i opcija da korisnik sam, na dijagramu promene nivoa zvuka, obeleži vremenski interval u kome želi da izračuna ekvivalentni nivo. Izgled ove sekcije dat je na Sl. 4. Proces merenja pokreće se pritiskom na dugme „ANALIZA BUKE...“, kojim se otvara prozor za učitavanje *Excel* fajla sa promenom nivoa zvuka i koji je rezultat obrade u sekciji 2. Time je omogućeno da se vremenski i procesorski zahtevnije izračunavanje promene nivoa signala ulaznog WAV fajla obavi samo jednom, a da se naknadno njegova detaljnija analiza sa stanovišta merenja buke vrši proizvoljan broj puta, sa različitim vremenskim prozorima.



Sl. 4. Sekcija 3: Merenje nivoa snimljenog signala buke.

Svi rezultati smeštaju se u novi *Excel* fajl, ekstenzije .xls, i oni obuhvataju:

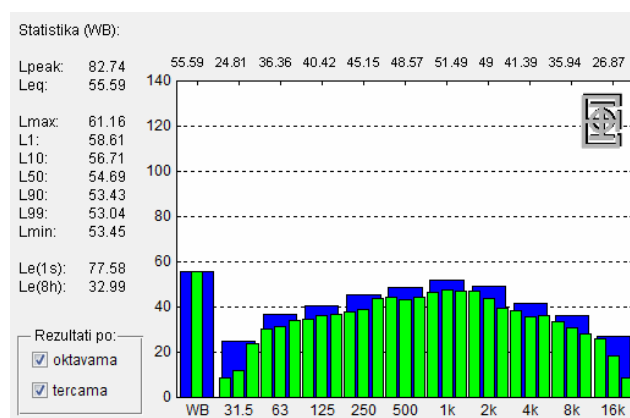
- sve parametre iz učitano *Excel* fajla, izuzev frekvencije odmeravanja i broja bita po odmerku originalnog signala
- i, zavisno od odabranih opcija za vremensko prozorovanje:

- vrednosti ekvivalentnog nivoa zvučnog pritiska u sukcesivnim 15-minutnim vremenskim prozorima,
- vrednosti ekvivalentnog nivoa zvučnog pritiska u vremenskim prozorima zadatog trajanja i pomeraja,

- vrednosti ekvivalentnog nivoa zvučnog pritiska u izabranim vremenskim intervalima.

#### E. Sekcija 4: Prikaz rezultata

Prikaz rezultata merenja dat je u donjem desnom uglu prozora programa i sastoji se od numeričkih vrednosti parametara (redom: maksimalne amplitude odmerka signala, ekvivalentnog nivoa, maksimalnog nivoa, L-parametara, minimalnog nivoa, trajanja signala i sekundnog i osmočasovnog nivoa izloženosti buci) i grafika sa ekvivalentnim nivoom širokopojasnog signala (WB). Data je i mogućnost grafičkog prikaza ekvivalentnog nivoa po oktavama (plava boja) ili tercama (zeleno boja), za ulazne WAV fajlove sa manje od 10 miliona odmeraka. Detaljniji rezultati nalaze se u odgovarajućim *Excel* fajlovima i dijagramima koji se aktiviraju preko padajućih menija.



Sl. 5. Sekcija 4: Prikaz rezultata.

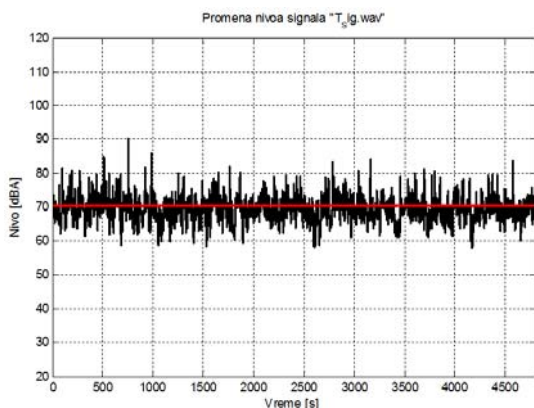
### IV. PRIMER MERENJA BUKE KORIŠĆENJEM REALIZOVANOG SOFTVERA

U nastavku su dati rezultati merenja buke u jednoj od centralnih ulica Beograda, u večernjim časovima, korišćenjem opisanog programa. Osim standardnog merenja ekvivalentnog nivoa signala buke u sukcesivnim 15-minutnim vremenskim prozorima, analiza je izvršena i u vremenskim prozorima istog trajanja, ali sa preklapanjem od 14 minuta (odnosno pomerajem od 1 min). Razlog za to je da se stekne uvid u fluktuacije vrednosti izmerenog ekvivalentnog nivoa u zavisnosti od odabira početnog trenutka merenja, odnosno u to koliko će izmerene vrednosti nivoa biti konzistentne pri pomeranju vremenskog intervala merenja, u slučaju uobičajene komunalne buke.

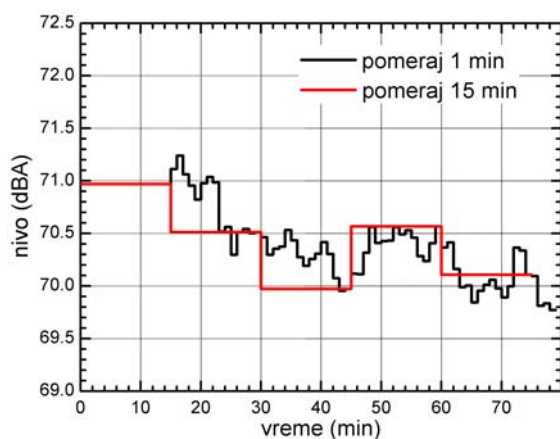
Na Sl. 1-4. prikazan je izgled glavnog prozora programa tokom merenja. Kao kalibracioni signal korišćen je snimak kalibratora („T\_kal.wav“), koji emituje sinusoidalni zvučni signal frekvencije 1000 Hz i nivoa 94 dBlin. Fajl „T\_sig.wav“ sadrži snimak buke koja se analizira. Oba snimka načinjenja su frekvencijom odmeravanja od 48 kHz i sa 24 bita po odmerku

Za prikazanu analizu upotrebljena je vremenska konstanta 125 ms, a nivo zvuka je računat u dBA. Izračunavanje promene nivoa zvučnog pritiska u vremenu na osnovu snimljenog signala čije je trajanje nešto više od

79 minuta, izvršeno je za oko 1 minut, što znači da je analiza dovoljno brza čak i za uobičajeno dugačke snimke buke, reda nekoliko časova. Na Sl. 6. prikazan je dijagram promene nivoa zvuka snimljenog signala buke korišćenjem vremenske konstante od 125 ms, kao i vrednost ekvivalentnog nivoa. Promena ekvivalentnog nivoa unutar 15-minutnih vremenskih prozora, sukcesivnih (sa pomerajem jednakim trajanju prozora) i sa pomerajem od 1 min, prikazana je na Sl. 7.



Sl. 6. Promena nivoa snimljenog signala i ekvivalentni nivo.



Sl. 7. Promena nivoa snimljenog signala unutar 15-minutnih prozora sa pomerajem od 1 min i 15 min.

U Tabeli 1. prikazani su ekvivalentni, maksimalni i minimalni izmereni nivo zvučnog pritiska, kao i izračunati L-parametri za fajl „T\_sig.wav“. Sve vrednosti date su u dB(A). Ekvivalentni nivo od preko 70 dB(A) ukazuje na izraženu buku u gradskom centru, a u pojedinim trenucima on dostiže vrednost i preko 80, pa čak i 90 dB(A). Ovakve pojedinačne ekskurzije vrednosti nivoa zvuka uglavnom su posledica buke saobraćaja i na Sl. 5. predstavljene su vršnim vrednostima na grafiku. Ipak, u najvećem delu vremena (98%) ekvivalentni nivo buke se kreće između 59.8 dB(A) (L99) i 77.2 dB(A) (L1).

Vidi se da se u analiziranom slučaju vrednost ekvivalentnog nivoa buke u pet sukcesivnih 15-minutnih

vremenskih prozora kreće između 69.97 dB(A) i 70.97 dB(A). Izvršena je i analiza promene ekvivalentnog nivoa unutar 15-minutnih vremenskih prozora sa preklapanjem od 14 min. Izračunate vrednosti se kreću u intervalu od 69.77 dB(A) do 71.24 dB(A).

TABELA 1: VAŽNIJI IZMERENI PARAMETRI SNIMLJENOG SIGNALA BUKE.

$L_{eq}$	70.37
$L_{max}$	90.07
$L_{min}$	57.71
L1	77.18
L10	72.51
L50	68.63
L90	64.06
L99	59.83

## V. ZAKLJUČAK

Prikazani računarski program, kao sastavni deo istraživačkog alata specijalizovanog za kompleksnu analizu buke, zadovoljava sve uobičajene zahteve pri merenju nivoa buke i zvuka uopšte. Pored toga on korisniku omogućava veću fleksibilnost u radu i detaljniji uvid u karakteristike snimljenog zvučnog signala u odnosu na standardni fonometar. Program je realizovan sa namerom da se primeni u budućim analizama komunalne buke, što znači da će i budućnosti verovatno trpeti izmene u skladu sa novonastalim potrebama istraživanja. To čini i najveću prednost ovakvog alata u odnosu na standardne uređaje – mogućnost jednostavne izmene i unapređivanja u skladu sa razvojem potreba korisnika.

## LITERATURA

- [1] "Akustika – Opis i merenje buke životne sredine", JUS ISO 1996-1:2002.
- [2] "Akustika u građevinarstvu – Akustičko zoniranje otvorenog prostora", SRPS U.J6.205.
- [3] C. M. Harris, "Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control," *Acoustical Society of America*, A. H. Marsh, W. V. Richings, "Measurement of Sound Exposure and Noise Dose," 1998.

## ABSTRACT

Researches of community noise, for the purposes of acoustical zoning of open space and similar, sometimes require analysis that can not be carried out using standard phonometers. One way to overcome this is by implementation of specialized noise measuring and analysing research tool. This paper presents a software, designed as an integral part of this tool. Its functions are described and the results of its application are demonstrated on one practical example.

## IMPLEMENTATION OF A NOISE MEASURING AND ANALYSING SOFTWARE

Draško Mašović, Mimir Mijić, Jelena Čertić