

# Proračun nesigurnosti dugotrajnih merenja buke u životnoj sredini bez nadzora

Momir Prašević

Laboratorija za buku i vibracije  
Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu u Nišu  
Niš, Srbija  
[momir.prascevic@znrfaq.ni.ac.rs](mailto:momir.prascevic@znrfaq.ni.ac.rs)  
ORCID ID: [0000-0002-7017-1038](https://orcid.org/0000-0002-7017-1038)

Darko Mihajlov

Laboratorija za buku i vibracije  
Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu u Nišu  
Niš, Srbija  
[darko.mihajlov@znrfaq.ni.ac.rs](mailto:darko.mihajlov@znrfaq.ni.ac.rs)  
ORCID ID: [0000-0003-4528-170X](https://orcid.org/0000-0003-4528-170X)

**Apstrakt** – Opšte smernice za procenu vrednosti merne nesigurnosti prilikom merenja buke u životnoj sredini, koja uključuje uticaj različitih izvora nesigurnosti, sadržane su u standardu ISO 1996-2. Prema datim smernicama, u radu je predstavljen detaljan metodološki pristup za procenu nesigurnosti dugotrajnih merenja buke u životnoj sredini bez nadzora na osnovu velikog broja rezultata nezavisnih merenja ekvivalentnih nivoa zvučnog pritiska, izvršenih u različitim situacijama emisije zvuka i meteorološkim uslovima. Rezultati merenja su stratifikovani u različite okvire koji označavaju različite kategorije emisije zvuka i meteoroloških uslova. U radu su prikazani rezultati proračuna nesigurnosti dugotrajnih merenja buke u životnoj sredini bez nadzora sprovedenih na teritoriji grada Niša korišćenjem predloženog metodološkog pristupa.

**Ključne reči** – merna nesigurnost, buka u životnoj sredini, dugotrajna merenja bez nadzora, indikatori buke

## I. UVOD

Indikatori buke su veličine za opisivanje buke u životnoj sredini, a njihove vrednosti neposredno ukazuju na moguće štetno dejstvo buke u životnoj sredini na zdravlje stanovništva. Način određivanja vrednosti indikatora buke u životnoj sredini je definisan Evropskom direktivom o buci [1]. U cilju harmonizacije propisa koji se odnose na oblast upravljanja bukom u životnoj sredini, većina evropskih zemalja je implementirala sadržaj Evropske direktive o buci u svoje propise [2]–[5].

Indikatori buke suštinski predstavljaju prosečne godišnje vrednosti A-ponderisanih dugotrajnih ekvivalentnih kontinualnih nivoa zvučnog pritiska, koji obuhvataju sve reprezentativne situacije emisije zvuka i meteorološke uslove na datoj lokaciji u životnoj sredini. Vrednosti indikatora buke se mogu odrediti na dva načina - merenjem u skladu sa standardima ISO 1996-1 [6] i ISO 1996-2 [7], ili proračunom prema metodi CNOSSOS koja je utvrđena u Aneksu II Direktive [1]. Prema Direktivi, osnovne indikatore buke u životnoj sredini predstavljaju indikator buke za dan-veče-noć,  $L_{den}$ , i indikator buke za noć,  $L_{night}$ , kao minimalni broj informacija o stanju nivoa buke na određenom prostoru. Ukoliko postoji potreba za detaljnijim informacijama, ili za proračunom indikatora buke za dan-veče-noć prema jednačini iz Aneksa I Direktive [1], mogu se koristiti i indikator buke za dan,  $L_{day}$ , i indikator buke za veče,  $L_{evening}$ . Termini „dan“, „veče“ i „noć“ označavaju referentne vremenske intervale [6] koji su propisani odgovarajućim nacionalnim propisima i predstavljaju vremenske intervale na koje se odnosi merodavni nivo buke. Obično su to intervali 07:00 – 19:00 za dan, 19:00 – 23:00 za veče i 23:00 – 07:00 za noć [1], mada se u nekim zemljama koriste intervali 06:00 – 18:00 za dan, 18:00 – 22:00 za veče i 22:00 – 06:00 za noć [8].

Istraživanja koja su izvršena poslednjih godina [9]–[17] pokazuju da se godišnje vrednosti indikatora buke mogu proceniti na osnovu merenja sa dugotrajnim vremenskim intervalima koji su znatno kraći od jedne kalendarske godine i obuhvataju nizove referentnih vremenskih intervala.

Godišnje vrednosti indikatora buke se merenjem mogu odrediti na dva načina. Prvi način podrazumeva dugotrajno merenje bez nadzora, tj. korišćenje automatizovanih stanica za monitoring buke koje neprestano mere i memorišu A-ponderisane nivoa zvučnog pritiska i relevantne meteorološke podatke. Ovaj način merenja direktno daje vrednosti indikatora buke za period monitoringa, bez potrebe za naknadnom obradom rezultata merenja. U drugom slučaju, za procenu vrednosti indikatora buke na osnovu serije kratkotrajnih merenja, merenja treba predvideti tako da se na osnovu njih može izračunati vrednost dugotrajnog ekvivalentnog nivoa zvučnog pritiska uzimajući u obzir verovatnoću pojave svih mogućih situacija emisije zvuka i meteoroloških uslova [7]. Merenja se zbog toga ponavljaju više puta, za različite režime rada izvora buke i meteorološke uslove, a rezultati se potom usrednjavaju kako bi se dobile procenjene godišnje vrednosti indikatora buke za sve referentne vremenske intervale [18].

Rezultati procene vrednosti indikatora buke do kojih se dolazi bilo kojim od navedenih načina, imajući u vidu prirodu njihovog porekla, ne predstavljaju apsolutno pouzdane vrednosti, već sadrže izvesnu vrednost merne nesigurnosti koju je potrebno izračunati i prikazati uz procenjenju vrednost indikatora buke. Smisao ovakvog pristupa nalazi opravdanje u slučaju upoređivanja procenjenih sa graničnim vrednostima indikatora buke koje su predviđene nacionalnim propisima [19].

Merna nesigurnost rezultata merenja buke u životnoj sredini, pre svega zasnovanih na konceptu kratkotrajnih merenja, iz navedenih razloga predstavlja temu brojnih istraživanja [19]–[28] koja se baziraju na ISO/IEC vodiču 98-3 [29]. Samo se mali broj istraživanja, poput [26]–[28], bavi problemom merne nesigurnosti u slučaju dugotrajnih merenja buke u životnoj sredini, pri čemu se ne oslanjaju na smernice koje su date u standardu ISO 1996-2 [7].

Imajući u vidu realnu potrebu i obavezu predstavljanja podatka o vrednosti merne nesigurnosti prilikom merenja buke u životnoj sredini, u ovom radu je prikazana metodologija za procenu vrednosti merne nesigurnosti dugotrajnih merenja buke u životnoj sredini prema smernicama koje su date u standardu ISO 1996-2 [7]. Takođe, dat je i primer izračunavanja merne nesigurnosti za konkretne rezultate dugotrajnih merenja buke u životnoj sredini sa ciljem informacije o redu veličine vrednosti merne nesigurnosti.

## II. METODOLOŠKI PRISTUP

### A. Stratifikacija rezultata merenja

Za određivanje vrednosti indikatora buke kao dugoročnih ekvivalentnih nivoa zvučnog pritiska tokom perioda monitoringa (minimum nekoliko dana) i pridružene merne nesigurnosti, neophodno je izvršiti veliki broj nezavisnih merenja ekvivalentnih nivoa zvučnog pritiska na mestu procene pod dobro definisanim situacijama emisije zvuka i meteorološkim uslovima. Nezavisna merenja su uzastopna merenja sa minimalnim vremenskim razmakom između dva merenja koji se

određuje na osnovu tabele 3 standarda ISO 1996-2 [7], tako da su situacije emisije zvuka i meteorološki uslovi statistički nezavisni od istih uslova kod drugih merenja u seriji merenja. Na primer, minimalni vremenski razmak između dva merenja mora da bude 24 h za mesto procene na udaljenosti manjoj od 100 m od drumske saobraćajnice. Izmerene vrednosti se zatim stratifikuju u različite okvire, tj. kombinaciju emisije zvuka (npr. dan, večer, noć) i meteoroloških uslova (npr. četiri različite klase kako preporučuje tabela 2 standarda ISO 1996-2 [7]). U tabeli I je prikazan model stratifikacije izmerenih dnevnih vrednosti indikatora buke na mestu procene.

TABELA I. STRATIFIKACIJA IZMERENIH DNEVNIH VREDNOSTI INDIKATORA BUKE NA MESTU PROCENE U RAZLIČITE OKVIRE

Emisioni okvir	Meteorološki okvir $M_w$			
	M1 Nepovoljan $v < 1$ m/s (dan) $v < -1$ m/s (noć)	M2 Neutralan $1 \leq v < 3$ m/s	M3 Povoljan $3 \leq v \leq 6$ m/s	M4 Veoma povoljan $v > 6$ m/s (dan) $v \geq -1$ m/s (noć)
dan	$L'_{di}, i = 1, \dots, N_{d,M1}$	$L'_{di}, i = 1, \dots, N_{d,M2}$	$L'_{di}, i = 1, \dots, N_{d,M3}$	$L'_{di}, i = 1, \dots, N_{d,M4}$
veče	$L'_{ei}, i = 1, \dots, N_{e,M1}$	$L'_{ei}, i = 1, \dots, N_{e,M2}$	$L'_{ei}, i = 1, \dots, N_{e,M3}$	$L'_{ei}, i = 1, \dots, N_{e,M4}$
noć	$L'_{ni}, i = 1, \dots, N_{n,M1}$	$L'_{ni}, i = 1, \dots, N_{n,M2}$	$L'_{ni}, i = 1, \dots, N_{n,M3}$	$L'_{ni}, i = 1, \dots, N_{n,M4}$

Emisioni okviri *dan*, *veče* i *noć* u tabeli I se odnose na referentne vremenske intervale *dan*, *veče* i *noć*. Znak „-“ za brzinu vetra označava da je smer vetra od prijemnika ka izvoru, „dan“ se u opisivanju vrednosti brzine vetra odnosi na vreme između izlaska i zalaska sunca, a „noć“ na vreme između zalaska i izlaska sunca.  $N$  je broj stratifikovanih uzoraka u odgovarajućem okviru. Apostrof ' u tabeli I i u narednim izrazima označava izmerene i izračunate vrednosti dnevnih indikatora buke. Radi bolje preglednosti i jednostavnijeg prikaza izraza, indikatori buke su u nastavku umesto sa  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$  i  $L_{night}$ , kako stoji u Direktivi [1], označeni sa  $L_d$ ,  $L_e$  i  $L_n$ .

### B. Izračunavanje vrednosti indikatora buke

Ukupan broj stratifikovanih uzoraka za emisioni okvir *dan* u svim meteorološkim okvirima  $M_w$  ( $w = 1 - 4$ ) iznosi:

$$N_d = \sum_{w=1}^4 N_{d,M_w}. \quad (1)$$

Ukupan broj stratifikovanih uzoraka za emisioni okvir *veče* i *noć* u svim meteorološkim okvirima se određuje analognim postupkom kao za *dan*, na osnovu (1).

Učestalost pojavljivanja stratifikovanih uzoraka za svaku kombinaciju emisionog okvira *dan* i meteoroloških okvira je:

$$p_{d,M_w} = \frac{N_{d,M_w}}{N_d}. \quad (2)$$

Učestalost pojavljivanja stratifikovanih uzoraka za svaku kombinaciju emisionih okvira *veče* i *noć* i meteoroloških okvira se određuje analognim postupkom kao za *dan*, prema (2).

Prosečna vrednost indikatora buke za *dan* za svaki meteorološki okvir se izračunava na osnovu izmerenih vrednosti dnevnih indikatora buke za *dan* na sledeći način:

$$\bar{L}'_{d,M_w} = 10 \log \left( \frac{1}{N_{d,M_w}} \sum_{i=1}^{N_{d,M_w}} 10^{0.1 \cdot L'_{di}} \right). \quad (3)$$

Prosečna vrednost indikatora buke za *veče* i *noć* za svaki meteorološki okvir se izračunava na osnovu izmerenih vrednosti dnevnih indikatora buke za *veče* i *noć* analognim postupkom kao za *dan*, na osnovu (3).

Ukupna vrednost indikatora buke za *dan* (za čitav period monitoringa) se izračunava na osnovu prosečne vrednosti indikatora buke za *dan* (3):

$$L'_d = 10 \log \left( \sum_{w=1}^4 p_{d,M_w} \cdot 10^{0.1 \cdot \bar{L}'_{d,M_w}} \right). \quad (4)$$

Ukupna vrednost indikatora buke za *veče* i *noć* se izračunava na osnovu prosečne vrednosti indikatora buke za *veče* i *noć* analognim postupkom kao za *dan*, na osnovu (4).

Ukupna vrednost indikatora buke za dan-veče-noć se izračunava na sledeći način:

$$L'_{den} = 10 \log \left( \frac{12}{24} \cdot 10^{0.1 \cdot L'_d} + \frac{4}{24} \cdot 10^{0.1 \cdot (L'_e + 5)} + \frac{8}{24} \cdot 10^{0.1 \cdot (L'_n + 10)} \right). \quad (5)$$

### C. Određivanje merne nesigurnosti

Procenjena (prava) vrednost indikatora buke za dan-veče-noć,  $L_{den}$ , na izabranom mestu za procenu, sa zanemarljivim uticajem rezidualnog zvuka, definisana je na sledeći način:

$$L_{den} = L'_{den} + \delta_{slm} + \delta_{loc1} + \delta_{loc2}, \quad (6)$$

gde je:

- $L'_{den}$  – izračunata ukupna vrednost indikatora buke za dan-veče-noć u skladu sa (5), isključujući rezidualnu buku;

- $\delta_{slm}$  – greška zbog izbora mernog lanca (merila nivoa zvuka) [7];
- $\delta_{loc1}$  – greška zbog izbora lokacije prijemnika u odnosu na refleksione površine [7];
- $\delta_{loc2}$  – greška zbog izbora lokacije mikrofona koja je reprezentativna za mesto procene (izbor pozicije mikrofona, visine mikrofona iznad nivoa zemlje, orijentacije mikrofona) [30], [31].

Greška zbog izbora lokacije mikrofona,  $\delta_{loc2}$ , je dodata budžetu nesigurnosti koji je preporučen standardom ISO 1996-2 [7] u skladu sa smernicama koje su date u [30], [31].

Zbir greške usled odstupanja od očekivanih uslova rada izvora,  $\delta_{sou}$ , i greške usled odstupanja meteoroloških uslova od pretpostavljenih meteoroloških uslova,  $\delta_{met}$ , utvrđuje se na osnovu nezavisnih merenja i uključuje u standardnu mernu nesigurnost za izmerene vrednosti indikatora buke za dan, veče i noć.

Kombinovana standardna merna nesigurnost procenjene vrednosti indikatora buke za dan-veče-noć,  $u(L_{den})$ , data je kao:

$$u(L_{den}) = \sqrt{c^2(L'_{den})u^2(L'_{den}) + c_{slm}^2u_{slm}^2 + c_{loc1}^2u_{loc1}^2 + c_{loc2}^2u_{loc2}^2}, \quad (7)$$

gde je:

- $c(L'_{den})$  – koeficijent osetljivosti za  $L'_{den}$ ,  $c(L'_{den}) = 1$ ;
- $c_{slm}$  – koeficijent osetljivosti za merilo nivoa zvuka,  $c_{slm} = 1$ ;
- $c_{loc1}$  – koeficijent osetljivosti za izbor lokacije prijemnika u odnosu na refleksione površine,  $c_{loc1} = 1$ ;
- $c_{loc2}$  – koeficijent osetljivosti za izbor lokacije prijemnika u odnosu na mesto procene,  $c_{loc2} = 1$ ;
- $u(L'_{den})$  – standardna nesigurnost za  $L'_{den}$  u dB;
- $u_{slm}$  – standardna nesigurnost zbog izbora merila nivoa zvuka u dB ( $u_{slm} = 0,5$  dB za klasu 1 merila nivoa zvuka i  $u_{slm} = 1,5$  dB za klasu 2 merila nivoa zvuka [7]);
- $u_{loc1}$  – standardna nesigurnost zbog izbora lokacije prijemnika u odnosu na refleksione površine u dB (procenjena prema Aneksu B standarda ISO 1996-2 [7]);
- $u_{loc2}$  – standardna nesigurnost zbog izbora lokacije prijemnika u odnosu na mesto procene u dB ( $u_{loc2} = 1$  dB [30] ili se može odrediti kao standardna devijacija ponovljivosti merenja).

Polazeći od (5) i primenom smernica iz Aneksa F standarda ISO 1996-2 [7], standardna nesigurnost  $u(L'_{den})$  se određuje kao kombinovana merna nesigurnost na sledeći način:

$$u(L'_{den}) = \sqrt{c^2(L'_d)u^2(L'_d) + c^2(L'_e)u^2(L'_e) + c^2(L'_n)u^2(L'_n)}, \quad (8)$$

gde su:

- $c(L'_d)$ ,  $c(L'_e)$ ,  $c(L'_n)$  – koeficijenti osetljivosti za ukupne vrednosti indikatora buke za dan, veče i noć u

periodu monitoringa, respektivno, čije se vrednosti određuju na sledeći način:

$$c(L'_d) = \frac{\partial L'_{den}}{\partial L'_d} = \frac{12}{24} 10^{0,1(L'_d - L'_{den})}, \quad (9a)$$

$$c(L'_e) = \frac{\partial L'_{den}}{\partial L'_e} = \frac{4}{24} 10^{0,1[(L'_e - 5) - L'_{den}]}, \quad (9b)$$

$$c(L'_n) = \frac{\partial L'_{den}}{\partial L'_n} = \frac{8}{24} 10^{0,1[(L'_n - 10) - L'_{den}]}. \quad (9c)$$

- $u(L'_d)$ ,  $u(L'_e)$  i  $u(L'_n)$  – standardne merne nesigurnosti za ukupne vrednosti indikatora buke za dan, veče i noć, respektivno.

Polazeći od (4) i primenom smernica iz Aneksa F standarda ISO 1996-2 [7], standardne merne nesigurnosti  $u(L'_d)$ ,  $u(L'_e)$  i  $u(L'_n)$  se određuju kao kombinovana merna nesigurnost. U nastavku je prikazan postupak za izračunavanje standardne merne nesigurnosti  $u(L'_d)$ . Za izračunavanje standardne merne nesigurnosti  $u(L'_e)$  i  $u(L'_n)$  se primenjuje analogni postupak.

Standardna merna nesigurnost  $u(L'_d)$  je data kao:

$$u(L'_d) = \sqrt{\sum_{w=1}^4 c^2(\bar{L}'_{d,Mw})u^2(\bar{L}'_{d,Mw}) + \sum_{w=1}^4 c^2(p_{d,Mw})u^2(p_{d,Mw})} \quad (10)$$

gde su:

- $c(\bar{L}'_{d,Mw})$  – koeficijenti osetljivosti za energijsku srednju vrednost izmerenih dnevnih vrednosti indikatora buke za dan, stratifikovanih u odgovarajućem okviru (videti tabelu I):

$$c(\bar{L}'_{d,Mw}) = \frac{\partial L'_d}{\partial \bar{L}'_{d,Mw}} = p_{d,Mw} \cdot 10^{0,1(\bar{L}'_{d,Mw} - L'_d)}; \quad (11)$$

- $c(p_{d,Mw})$  – koeficijenti osetljivosti za učestalost pojavljivanja stratifikovanih uzoraka u odgovarajućem okviru (videti tabelu I i (2)):

$$c(p_{d,Mw}) = \frac{\partial L'_d}{\partial p_{d,Mw}} = 10 \log(e) \frac{10^{0,1 \cdot \bar{L}'_{d,Mw}} - 10^{0,1 \cdot L'_{d,max}}}{10^{L'_d}}; \quad (12)$$

- $u(\bar{L}'_{d,Mw})$  – standardna merna nesigurnost za energijsku srednju vrednost izmerenih dnevnih vrednosti indikatora buke za dan, stratifikovanih u odgovarajućem okviru;

- $u(p_{d,Mw})$  – standardna merna nesigurnost za učestanost pojavljivanja stratifikovanih uzoraka u odgovarajućem okviru.

Vrednost  $L'_{d,max}$  u (12) je najveća energijska srednja vrednosti izmerenih dnevnih vrednosti indikatora buke za dan (obično za meteorološki okvir M4) i može se odrediti na sledeći način:

$$L'_{d,\max} = \max(L'_{d,M1}, L'_{d,M2}, L'_{d,M3}, L'_{d,M4}). \quad (13)$$

Standardna merna nesigurnost za učestanost pojavljivanja stratifikovanih uzoraka u odgovarajućem okviru se procenjuje. Standard ISO 1996-2 [7] preporučuje vrednost od 0,05 za sve okvire.

Standardna merna nesigurnost za energijsku srednju vrednost izmerenih dnevnih vrednosti indikatora buke za dan, stratifikovanih u odgovarajućem okviru, određuje se direktno na osnovu rezultata merenja stratifikovanih u odgovarajućem okviru (tabela I). Predstavlja kombinovanu mernu nesigurnost koja ukuljučuje odstupanja od očekivanih uslova emisije zvuka i odstupanja meteoroloških uslova u odnosu na pretpostavljene meteorološke uslove. Određuje se za svaku kombinaciju emisionog i meteorološkog okvira (tabela I).

Standardna merna nesigurnost energijske srednje vrednosti izmerenih dnevnih vrednosti indikatora buke za dan u okviru  $M_w$  data je kao:

$$u(\bar{L}'_{d,M_w}) = \left\{ 10 \log \left[ 10^{0,1 \cdot \bar{L}'_{d,M_w}} + s(\bar{L}'_{d,M_w}) \right] - \bar{L}'_{d,M_w} \right\} / \sqrt{N_{d,M_w}}, \quad (14)$$

gde je:

- $\bar{L}'_{d,M_w}$  – srednja vrednost izmerenih dnevnih vrednosti indikatora buke za dan u odgovarajućem okviru prema (3);
- $s(\bar{L}'_{d,M_w})$  – standardna devijacija izmerenih dnevnih vrednosti indikatora buke za dan u odgovarajućem okviru:

$$s(\bar{L}'_{d,M_w}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_{d,M_w}} (L'_{di} - \bar{L}'_{d,M_w})^2}{N_{d,M_w} - 1}} \quad (15)$$

Ako je razlika izmerenih vrednosti  $L'_{di}$  mala, tada se (14) može zameniti sa:

$$u(\bar{L}'_{d,M_w}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_{d,M_w}} (L'_{di} - \bar{L}'_{d,M_w})^2}{N_{d,M_w} (N_{d,M_w} - 1)}}. \quad (16)$$

U ISO 1996-2 [7] nije jasno naznačeno da je  $u(\bar{L}'_{d,M_w})$  standardna devijacija srednjih vrednosti ((14) i (16)), a ne standardna devijacija rezultata merenja.

Konačno, proširena merna nesigurnost,  $U$ , je merna nesigurnost povezana sa izabranom verovatnoćom pokrivenosti. Obično se bira verovatnoća pokrivenosti od 95 % sa faktorom pokrivenosti 2 [7]. Procenjena vrednost indikatora buke za dan-

veče-noć za period monitoringa se u skladu sa tim daje u sledećoj formi:

$$L_{\text{den}} = L'_{\text{den}} \pm U = L'_{\text{den}} \pm 2u(L'_{\text{den}}). \quad (17)$$

Ukoliko su prilikom izveštavanja o merenjima potrebni podaci o procenjenim vrednostima indikatora buke za dan, veče i noć, tada se ukupna merna nesigurnost može izračunati pomoću (7), gde se  $L'_{\text{den}}$  zamenjuje sa  $L'_d$ ,  $L'_c$  i  $L'_n$  respektivno.

### III. PRIMER PRORAČUNA MERNE NESIGURNOSTI

Dugotrajni kontinualni monitoring buke u životnoj sredini u gradu Nišu se sprovodi od 2014. godine. U tu svrhu se koristi Bruel & Kjaer sistem za upravljanje bukom u životnoj sredini. Osnovu sistema čine softver za upravljanje podacima tip 7843 i stanice za monitoring buke tip 3639-B. Funkcionisanje sistema se zasniva na uzorkovanju nivoa zvučnog pritiska svakih 0,5 s, na osnovu čega se izračunavaju vrednosti ekvivalentnih kontinualnih nivoa zvučnog pritiska za 15 minuta i jedan sat, kao i dnevne, mesečne i godišnje vrednosti indikatora buke. Cilj monitoringa buke u životnoj sredini je utvrđivanje nivoa izloženosti stanovništva ukupnoj buci iz svih izvora buke na mestu procene. Neki od rezultata monitoringa su objavljeni u [9], [13], [14], [18], [32], [33].

Na rezultate monitoringa buke životne sredine na teritoriji grada Niša primenjena je metodologija za procenu merne nesigurnosti dugotrajnih merenja buke u životnoj sredini prikazana u ovom radu. Dnevne vrednosti indikatora buke su stratifikovane u različite okvire prema uslovima emisije zvuka i meteorološkim uslovima, kao što je prikazano u tabeli I. U svim analiziranim slučajevima je period monitoringa bio mesec dana (tabela II). Izračunate su mesečne vrednosti indikatora buke, kao i odgovarajuće kombinovane i proširene merne nesigurnosti. Rezultati proračuna za tačku procene (20 m od autoputa, sa godišnjim prosečnim dnevnim saobraćajem od 15 959 vozila u 2021. godini [34] i 18 413 vozila u 2022. godini [34]) prikazani su u tabeli II. Stanica za monitoring buke je bila postavljena na terasi stambenog objekta, sa mikrofonom na visini 4 m iznad okolnog terena.

Za izračunavanje  $u(L_{\text{den}})$  prema (7), standardna nesigurnost zbog izbora lokacije prijemnika u odnosu na refleksione površine,  $u_{\text{loc1}}$ , je procenjena na 0,4 dB za slučaj saobraćajne buke koja dolazi iz svih uglova i lokaciju mikrofona koja podrazumeva korekciju od 3 dB na osnovu preporuke B.5 Aneksa B standarda ISO 1996-2 [7]. Standardna nesigurnost zbog izbora lokacije prijemnika u odnosu na tačku procene se procenjuje na 0 dB, jer je lokacija mikrofona bila ista za sve mesece tokom perioda monitoringa.

Srednja vrednost procenjenih ukupnih vrednosti mesečnih indikatora buke za dan-veče-noć iznosi 72,2 dB i ujedno predstavlja godišnji indikator buke za dan-veče-noć. Srednja vrednost proširene merne nesigurnosti je 1,32 dB, na osnovu čega sledi da su sve vrednosti mesečnog indikatora buke za dan-veče-noć u opsegu 72,2 dB  $\pm$  1,32 dB.

TABELA II. VREDNOSTI INDIKATORA BUKE I MERNIH NESIGURNOSTI ZA DUGOTRAJNO MERENJE BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI, u dB

	Period monitoringa - mesec/godina											
	08/21	09/21	10/21	11/21	12/21	01/22	02/22	03/22	04/22	05/22	06/22	07/22
$L_{den} \pm U$	73.2 $\pm 1,32$	72.4 $\pm 1,32$	73.2 $\pm 1,32$	71.9 $\pm 1,32$	72.4 $\pm 1,32$	72.4 $\pm 1,34$	71.7 $\pm 1,32$	71.6 $\pm 1,32$	71.9 $\pm 1,36$	71.8 $\pm 1,32$	71.6 $\pm 1,30$	71.8 $\pm 1,30$
$u(L_{den})$	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,67	0,66	0,66	0,68	0,66	0,65	0,65
$L'_{den}$	73,2	72,4	73,2	71,9	72,4	71,5	71,7	71,6	71,9	71,8	71,6	71,8
$u(L'_{den})$	0,14	0,16	0,15	0,15	0,15	0,18	0,15	0,14	0,24	0,14	0,12	0,13
$L'_d$	69,9	69,5	70,0	69,7	70,2	69,1	69,4	69,2	69,4	69,3	69,3	69,4
$u(L'_d)$	0,11	0,26	0,26	0,25	0,25	0,26	0,26	0,25	0,35	0,25	0,20	0,21
$L'_e$	68,9	68,1	68,1	67,6	68,0	67,1	67,4	67,3	68,0	67,5	67,3	67,5
$u(L'_e)$	0,10	0,24	0,24	0,23	0,24	0,15	0,23	0,07	0,27	0,07	0,12	0,11
$L'_n$	65,7	64,5	64,2	63,7	64,3	63,5	63,6	63,5	63,8	63,6	63,6	63,6
$u(L'_n)$	0,23	0,25	0,24	0,23	0,25	0,32	0,23	0,24	0,34	0,24	0,18	0,19

#### IV. ZAKLJUČAK

Proračun i prikazivanje vrednosti merne nesigurnosti merenja buke u životnoj sredini predstavlja obavezu prilikom izveštavanja o rezultatima merenja. Ovaj podatak ima naročit značaj prilikom poređenja procenjenih vrednosti indikatora buke i njihovih graničnih vrednosti koje su utvrđene nacionalnim propisima. U radu je samo na osnovu smernica koje su sadržane u standardu ISO 1996-2 izložena detaljna metodologija za procenu vrednosti merne nesigurnosti dugotrajnih merenja buke u životnoj sredini, na način koji omogućava postupno izračunavanje i uzimanje u obzir svih činilaca koji utiču na konačan rezultat. Predstavljena metodologija sadrži i proširenje budžeta nesigurnosti koji je preporučan standardom ISO 1996-2 u vidu greške zbog izbora lokacija mikrofona koje su reprezentativne za tačku procene (izbor pozicije mikrofona, visine mikrofona iznad nivoa zemlje, orijentacije mikrofona). Metodologija je adaptivna u smislu mogućeg izbora drugačijih emisionih okvira, kada se može primeniti npr. na stratifikovana nezavisna merenja časovnih ili mesečnih vrednosti ekvivalentnih nivoa zvučnog pritiska, uzimajući u obzir relevantne meteorološke podatke za definisanje odgovarajućih meteoroloških okvira.

Primenom predstavljene metodologije na konkretne rezultate monitoringa buke, kao unapređenog rešenja u odnosu na smernice u standardu ISO 1996-2, utvrđeno je da standardne merne nesigurnosti za izmerene vrednosti mesečnih indikatora buke imaju relativno male vrednosti, u opsegu od 0,07 dB do 0,34 dB, jer uzimaju u obzir samo uticaj emisije zvuka i meteoroloških uslova. Sa druge strane, uočava se da standardne merne nesigurnosti procenjenih vrednosti mesečnih indikatora buke za dan-veče-noć imaju veće vrednosti, u opsegu od 0,65 dB do 0,68 dB, jer uzimaju u obzir i uticaj merila nivoa zvuka i izbor lokacije prijemnika u odnosu na refleksione površine.

#### LITERATURA

- [1] Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise (END). Brussels, the European Parliament and the Council of the European Union, 2002.  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02002L0049-20210729>
- [2] Law on environmental noise protection. Official Gazette of Republic of Serbia, No. 96/21, in Serbian, 2021.
- [3] Law on noise protection. Official Gazette of Republic of Croatia, No. 30/09, 55/13, 153/13, 41/16, 114/18, 14/21, in Croatian, 2021.
- [4] Law on environmental noise protection. Official Gazette of Republic of Montenegro, No. 28/11, 1/14, 2/18, in Montenegrin, 2018.
- [5] Law on environmental noise protection. Official Gazette of Republic of Macedonia, No. 79/07, 124/10, 47/11, 163/13, 146/15, 151/21, in Macedonian, 2021.
- [6] ISO Standard 1996-1:2016, Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 1: Basic quantities and assessment procedures. International Organization for Standardization, 2016.
- [7] ISO Standard 1996-2:2017, Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 2: Determination of sound pressure levels. International Organization for Standardization, 2017.
- [8] Regulation on noise indicators, limit values, methods for assessing noise indicators, disturbance and harmful effects of environmental noise. Official Gazette of Republic of Serbia, No. 75/10, in Serbian, 2010.
- [9] D. Mihajlov, M. Prašćević, M. Ličanin, M. Raos and B. Radičević, “A rational approach to determining environmental noise indicators”, Technical Gazette, vol. 29(2), pp. 553–560, 2022.  
<https://doi.org/10.17559/TV-20210226134508>.
- [10] D. Mihajlov, M. Prašćević, M. Ličanin and M. Raos, “Reliability of different environmental noise monitoring programs in Serbia”, Technical Gazette, vol. 29(1), pp. 114–120, 2022.  
<https://doi.org/10.17559/TV-20210209123431>.
- [11] I. Stančerić, V. Dragičević and S. Ahac, “Toward environmental noise estimation according to the road surface characteristics and traffic volume”, Technical Gazette, vol. 17(2), pp. 191–197, 2010.
- [12] M. H. Ehrampoush, G. H. Halvani, A. Barkhordari and M. Zare, “Noise pollution in urban environments: a study in Yazd City, Iran”, Polish Journal of Environmental Studies, vol. 21(4), pp. 1095–1100, 2012.
- [13] P. Alam, K. Ahmad, S. S. Afsar and N. Akhtar, “Noise monitoring, mapping, and modelling studies – a review”, Journal of Ecological Engineering, vol. 21(4), pp. 82–93, 2020.  
<https://doi.org/10.12911/22998993/119804>
- [14] D. Mihajlov and M. Prašćević, “Permanent and semi-permanent road traffic noise monitoring in the city of Nis (Serbia)”, Journal of low frequency noise, vibration and active control, vol. 34(3), pp. 251–268, 2015.  
<https://doi.org/10.1260/0263-0923.34.3.251>
- [15] M. Prašćević, D. Mihajlov and D. Cvetković, “Permanent and semi-permanent noise monitoring – first results in the city of Nis”, In Proceedings of 24th International Conference “Noise and Vibration”, pp. 33–40, 2014.
- [16] A. Ruiz-Padillo, D. P. Ruiz, A. J. Torija and Á. Ramos-Ridao, “Selection of suitable alternatives to reduce the environmental impact of road traffic noise using a fuzzy multi-criteria decision model”, Environmental Impact Assessment Review, vol. 61, pp. 8–18, 2016.  
<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2016.06.003>

- [17] D. Mihajlov, M. Prašćević and N. Herisanu, "Selection of measurement strategy for the assessment of long-term environmental noise indicators using multicriteria optimization", *Acoustics and Vibration of Mechanical Structures–AVMS-2017*, Springer Proceedings in Physics, vol. 198, pp. 77–82, 2018.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-69823-6\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-69823-6_9)
- [18] M. Prašćević, D. Mihajlov and M. Ličanin, "Noise monitoring on the territory of the city of Niš – overview of the methodologies and the results", In *Proceedings of 26th International Conference "Noise and Vibration"*, pp. 85–92, 2018.
- [19] A. Ruggiero, D. Russo and P. Sommella, "Determining environmental noise measurement uncertainty in the context of the Italian legislative framework", *Measurement*, vol. 93, pp. 74–79, 2016.
- [20] A. Petošić, P. Franček, M. Štrbac, P. Zat'ko, D. Urban and D. Szabo, "Measurement uncertainty in the field of environmental noise and building acoustic measurements: experience from interlaboratory comparisons", In *Proceedings of 8th Congress of the Alps Adria Acoustics Association*, 2018.
- [21] D. Cvetković, M. Prašćević and D. Mihajlov, "Estimation of uncertainty in environmental noise measurement", In *Proceedings of the VII Triennial International Conference "Heavy Machinery HM 2011"*, vol. 7(6), pp. 39–44, 2011.
- [22] M. Prašćević, D. Cvetković and D. Mihajlov, "The uncertainty sources in environmental noise measurements and the uncertainty estimation", *Facta Universitatis Series "Mechanical Engineering"*, vol. 9(2), pp. 183–192, 2011.
- [23] M. Badiša, E. Lumtitzer, M. Fil'ova and M. Bil'ova, "Determination of the uncertainties of noise measurements", *Annals of the Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering*, vol. VII(XVII), pp. 64–72, 2008.
- [24] D. Manvell and E. Aflalo, "Uncertainties in environmental noise assessments – ISO 1996, effects of instrument class and residual sound", In *Proceedings of ForumAcusticum 2005*, 2005.
- [25] T. Wsyolek and M. Klaczynski, "Effect of traffic noise statistical distribution on LAeq,T measurement uncertainty", *Archives of acoustics*, vol. 31(4), pp. 311–318, 2006.
- [26] D. Kuehner, "Long-term Leq errors expected and how long to measure (uncertainty and noise monitoring)", In *Proceedings of ForumAcusticum 2005*, 2005.
- [27] B. Pryszucha, "Uncertainty analysis in acoustic investigations", In *Proceedings of "Computer science & engineering 2013"*, pp. 124–129, 2013.
- [28] P. Majjala, "A measurement-based statistical model to evaluate uncertainty in long-range noise assessments", *VTT*, 2014.  
<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/114641/maijala.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [29] ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of Measurement Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*. International Organization for Standardization, 2008.
- [30] ISO Standard 9612:2009, *Acoustics – Determination of occupational noise exposure – Engineering method*. International Organization for Standardization, 2009.
- [31] N. J. Graven and G. Kerrz, "A good practice guide on the sources and magnitude of uncertainty arising in the practical measurement of environmental noise", *University of Salford School of Computing, Science & Engineering Salford*, ISBN: 0-9541649-0-3, 105, 2007.
- [32] M. Prašćević, D. Mihajlov, D. Cvetković and A. Gajicki, "Long-term noise measurements and harmonica index as a way of raising public awareness about traffic noise in the city of Niš", *Facta Universitatis, Series: Working and Living Environmental Protection*, vol. 14 (1), pp. 41–51, 2017.  
<https://doi.org/10.22190/FUWLEP1701041P>
- [33] M. Prašćević, D. Mihajlov, D. Cvetković and A. Gajicki, "Long-term road traffic noise measurements at the main streets of Niš city", In *Proceedings of 25th International Conference "Noise and Vibration"*, pp. 35–40, 2016.
- [34] <https://www.putevi-srbije.rs/index.php/sr/brojanje-saobraćaja>

#### ABSTRACT

General guidelines for estimating the value of uncertainty of environmental noise measurement, which includes the influence of various sources of uncertainty, are contained in ISO 1996-2. According to the given guidelines, the paper presents a detailed methodological approach for estimating the uncertainty of unattended long-term environmental noise measurement based on a large number of independent measurements of equivalent sound pressure levels, performed in different sound emission situations and meteorological conditions. The measurement results are stratified into different windows indicating different situations of sound emission and meteorological conditions. The paper presents the uncertainty calculation results of unattended long-term environmental noise measurements performed on the territory of the city of Niš, using the suggested methodological approach.

#### UNCERTAINTY CALCULATION OF UNATTENDED LONG-TERM ENVIRONMENTAL NOISE MEASUREMENTS

Momir Prascevic, Darko Mihajlov